

CEMENT

AND

CEMENT MANUFACTURE

THE INTERNATIONAL FOUR-LANGUAGE CEMENT JOURNAL

MANAGING EDITOR: H. L. CHILDE. CONSULTING TECHNICAL EDITOR: S. G. S. PANISSET.

ENGLISH SECTION

PUBLISHED BY CONCRETE PUBLICATIONS LIMITED,
20, DARTMOUTH STREET, WESTMINSTER, LONDON, S.W.1, ENGLAND.
Published on the 20th of each Month. Price 2s. a copy. Annual Subscription 24s. post free.

PARTIE FRANÇAISE	..	..	..	PAGE 445
DEUTSCHER TEIL	..	..	..	SEITE 477
SECCIÓN ESPAÑOL	..	..	..	PÁG 509

Power Transmission for Cement Works.

By W. GOODYEAR, M.I.Mech.E.

THE manufacture of Portland cement absorbs a large amount of power, the consumption varying between about 60 and 120 K.W. hours per ton manufactured; the actual amount, however, depends chiefly on the nature of the raw material and the fineness of the finished product. Higher figures, even up to 160 K.W. hours per ton, have been recorded, but these are unusual.

A large proportion of the power is absorbed in grinding the raw materials and the finished product, but the consumption in other units is continually growing owing to the introduction of labour-saving appliances. Cheap electrical power is now available in most places, and this, with the introduction of unit driving by electric motors, increases the tendency to use electricity. These factors also tend to eliminate purely mechanical transmission, by coupling the motors more or less directly to the various machines; as, however, only fans and similar high-speed machines can be connected to the motor direct without the use of reduction or transmission gear, the subject of this paper is of considerable interest.

When manufacturing plants were small, say, 1,000 tons per works per week, it was usual to group all the power absorbing units around two or three power-producing units; this method led to compact plants and fairly efficient transmission. With the advent of electrical power, transmission became simpler, better facilities were provided for spreading out the plant and in obtaining

better grouping or better arrangement. Under electrical conditions transmission became more easily arranged and at the same time works became larger.

With slow-speed engines of the horizontal type a mechanical efficiency of 90 per cent. or 92 per cent. at full power was obtained, the main drive being effected generally by ropes from the flywheel to a pulley on the mill shaft. With high-speed engines of the vertical type and having forced lubrication, a mechanical efficiency of 92 per cent. to 93 per cent. at full power was obtained, but it did not prove so easy to transfer power from the high-speed shaft to a low-speed mill shaft.

The usual method of transmitting power in any industry is by rope, belt, chain, gear, or electricity. With very few exceptions a rope, belt, chain, or gear drive is required for every unit. Under some conditions and in special cases, however, direct electrical drives are possible.

Ropes and belts generally operate at a high speed. They form an elastic driving element, but can only be used satisfactorily for driving machines which require a constant torque; if the torque is not constant the machines should be fitted with a fly-wheel or something which produces a fly-wheel effect. A rope or belt is not suitable for a choppy or rapidly changing load without fly-wheel or its equivalent.

Rope Drives.

Ropes for transmitting power should be of cotton. Hemp and manilla are sometimes used in emergency, but for long life and smooth running their value is considerably less than that of cotton. Cotton ropes are made of either three or four strands, with or without a tension strand, and although both kinds have their staunch supporters it is not unlikely that either kind applied in the same way, operated under the same conditions, and with the same standard of upkeep would give a similar working life and prove equally economic.

To secure reasonable operating conditions a certain minimum ratio should exist between the diameter of the rope and the diameter of the pulley upon which it works; most rope makers standardise upon a figure of 30 (i.e., the pulley diameter is thirty times the rope diameter) as suitable. Experience indicates, however, that this ratio can be reduced a few points in the case of small-diameter ropes and increased a few points with advantage in the case of large-diameter ropes. That is to say, a rope $\frac{1}{2}$ in. diameter will work equally well on a pulley 13 in. or 14 in. in diameter instead of 15 in. diameter, but a rope 2 in. in diameter will give better service when running on a pulley, say, 65 in. or 70 in. in diameter instead of the standard figure of 60 in.

The most usual, and probably the most economic, rope speed is 4,500 to 5,000 ft. per minute. If both pulleys are large the figure can be safely increased to 6,000 ft. or even 6,500 ft. per minute. Conditions, however, must be good for the ropes to run well at this speed. When ropes operating at high speed run on small-diameter pulleys, the centrifugal action of the rope as it engages with the smaller pulley so reduces the arc of contact that slippage and abnormal wear will result; it may even prove impossible for the designed power to be transmitted without keeping the ropes abnormally tight. Whenever possible the tight (driving) side of the rope should be arranged at the bottom, so that any slackness due to stretching will increase the arc of contact. If the slack side is on the bottom the arc of contact would be decreased.

The shape of the grooves in the pulleys and the effective diameter of the different grooves are very important factors in the life of a driving rope. If the grooves are exactly the same shape, the rope will gradually become moulded to

that shape. If the shape of the grooves on one pulley is different from those on the other, the ropes will have to be remoulded every time they engage with each pulley. Too great importance cannot be attached to the machining of the grooves of rope pulleys.

The power-carrying capacity of ropes for a velocity of 4,800 ft. per minute is given in Table 1. At any speed lower than 4,800 ft. per minute the power-carrying capacity will be reduced in the same ratio. At slightly higher speeds the power-carrying capacity of any rope may probably fall off at a slightly increased rate; it will probably fall off rapidly at velocities of 6,000 ft. to 6,500 ft. per minute. The rate of falling off will be determined principally by the diameter of the smallest pulley.

TABLE NO. 1.

Power transmitting capacity of Cotton Ropes having a velocity of 4,800 ft. per minute.

Diameter of rope (ins.)	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	2	$2\frac{1}{4}$	$2\frac{1}{2}$
Horse power per rope...	4.0	8.8	15.5	24.0	35	47	62	80	95

Rope driving is a very convenient and efficient method of power transmission from one shaft to another through large-diameter wheels at relatively low shaft speeds. As it is not practicable to cross ropes, both shafts will rotate in the same direction.

The centre distance of the two shafts is often a matter of convenience or determined by site conditions. If the centre distance is short atmospheric conditions may prove too searching for the rope, and a damp atmosphere may cause excessive shrinkage with permanent damage. If, on the other hand, the centres are too long, deterioration may be caused by excessive sag; furthermore, the ropes may tend to swing and combs will become necessary. A good practical dimension for shaft centres would be $2\frac{1}{2}$ times the added diameter of the two pulleys.

There is no practical limit to the amount of power that may be transmitted by a set of ropes. It is easily possible efficiently to transmit very large powers by this method; the running would be sweet, the velocity ratio practically constant, and wear and tear low. An examination of available data indicates that it is possible to transmit considerably more power per inch of width of pulley with large-diameter ropes than with small-diameter ropes. With main pulleys 8 ft. wide and a rope speed of 4,800 ft. per minute it would be possible under some conditions to transmit 2,000 H.P. when using 2-in. ropes, but it would only be possible in the same width and under similar conditions to transmit 1,000 H.P. when using 1-in. diameter ropes.

The limitation of rope speed and a ratio of 30 to 1 for pulley diameter to rope diameter automatically determines the highest speed at which any rope-driven shaft may run. With rope diameters of 1 in. and 2 in. the highest speeds become 305 and 155 revolutions per minute respectively. This principle has been amplified and scheduled for all usual sizes of rope in Table No. 2.

TABLE NO. 2.

Diameter of rope (ins.)	...	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	2	$2\frac{1}{4}$	$2\frac{1}{2}$
Shaft speed, R.P.M. (highest)		610	420	305	245	205	178	155	135	120

Belt Drives.

Passing to belt driving it may be said at the outset that belt driving generally takes a place secondary to rope driving. It is true main drives are occasionally

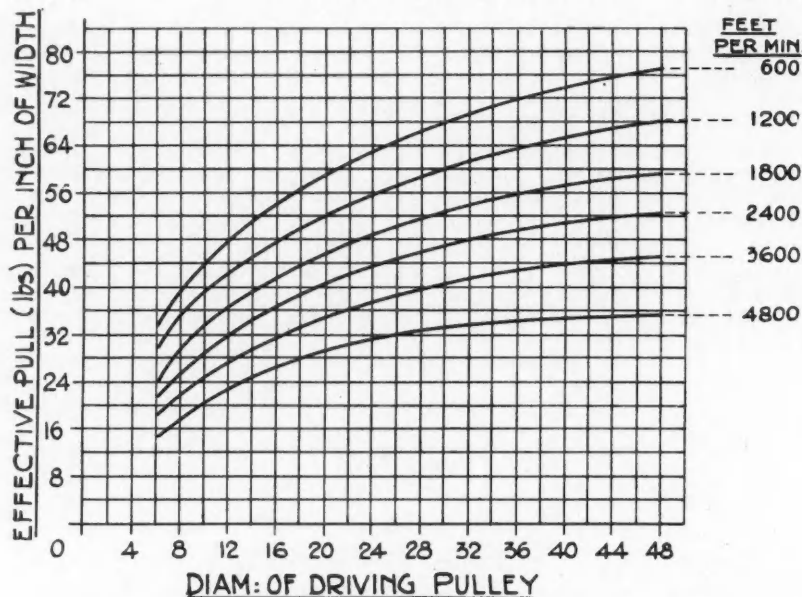


DIAGRAM SHOWING HOW THE RATE OF TRANSMISSION FALLS OFF AS THE DIAMETER OF THE PULLEYS IS REDUCED.

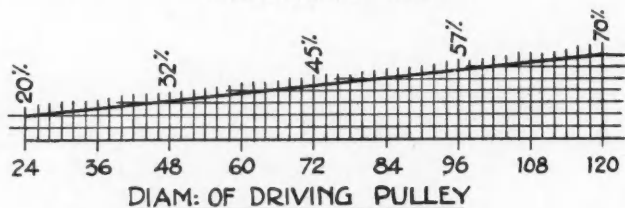


DIAGRAM ILLUSTRATING THE INCREASED CAPACITY OF DOUBLE BELTS.

Fig. 1.

effected by belts, but this is the exception rather than the rule. Steel bands are also used occasionally for main drives, but this method has so far not been widely adopted. Belts or bands are a very convenient and useful means for use for simple or secondary drives; where the amount of power is small a belt drive can be arranged cheaply. Many of the rules used in connection with rope drives can with advantage be used for belts also.

Taking speed first, 4,000 to 4,500 ft. per minute is a very economic speed and entirely suitable for main drives providing the diameter of the pulleys is large and the centrifugal force of the belt small. In the case of secondary drives the speed can with advantage be kept down to 2,000 or 2,500 ft. per minute, and for less important drives it can be kept lower still; in cases where speed changing by hand is necessary the speed must be kept very low.

In considering the thickness of belts, the ratio of belt thickness in relation to the diameter of the pulley over which it passes is as important a factor as in the case of rope drives. The factor in the case of ropes and their pulleys has already been given at about 1 to 30; in the case of belts a factor of 1 to 40 or even 48 would be a better figure.

In designing a belt drive the factors should be considered in the following sequence: (1) Power to be transmitted; (2) maximum economic or convenient speed; (3) area of cross section of belt; (4) width of belt in relation to the thickness, and this in turn must be considered in relation to pulley diameter and whether the belt may have to run open or crossed.

The size of the smallest pulley in a belt drive has an important effect on the amount of power that can be transmitted by it. The pulley diameter might be so small and the belt speed so high that the belt might barely touch the pulley

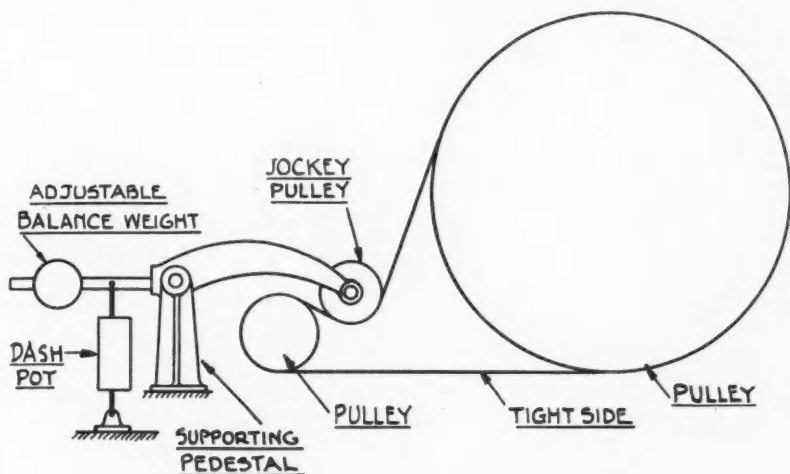


Fig. 2.—Diagrammatic arrangement of "Lennix" Drive.

in passing round it. The curve in Fig. 1 has been drawn to indicate the importance of the pulley diameter in relation to power transmission; the information given has been checked with data of many drives, and may be relied upon.

The efficiency of a rope drive may be as high as 98 per cent. providing all the conditions—rope speed in relation to the diameter of the smallest pulley; bearing centres; rope tightness; shape of grooves; rope stress; etc.—are favourable. The amount the efficiency falls lower than 98 per cent. will depend upon the influence exerted by each of these factors.

The efficiency of a belt drive will depend upon (1) the thickness of the belt in relation to the diameter of the smallest pulley; (2) belt speed in relation to the diameter of the smallest pulley; (3) the arc of contact of the belt on the smallest pulley; (4) the total pull on the two sides of the belt; and (5) the condition of the engaging surface. The highest efficiency may possibly be 98 per cent.; no

figure can be put forward for the lowest efficiency. The dusty atmosphere of most cement works frequently makes it very difficult to maintain a good belt surface.

Reference may be made at this point to the Lennix (belt) drive. A diagrammatic arrangement of this drive is shown in Fig. 2. In the Lennix drive the natural arc of contact of the belt with the smallest pulley is increased by the application of a jockey pulley to the slack side of the belt as it enters or leaves the driving or driven pulley, whichever is the smaller. The effective weight of, or pressure exerted by, this jockey pulley can be so located that the belt pressure on the driving pulley and the driving tension will automatically respond to any variation of pull or of the power transmitted. This automatic characteristic, other things being suitable, should result in high efficiency. No actual figures, however, are put forward. The Lennix drive enables belt drives to be successfully applied to pulleys operating at very close centres and having considerable difference in diameter. A velocity ratio of 8 to 1, or even 10 to 1 at very close centres, is practicable by means of the Lennix drive, a characteristic which makes this particular form of drive of considerable value under many conditions.

The pull on bearings resulting from any belt drive will be similar to, but possibly greater than, that resulting from a rope drive, and the design and proportions of bearings should provide accordingly. In addition to the net pull required for power transmission, additional pressure will be necessary in the case of a belt to prevent slipping.

Chain Drives.

Chain driving is becoming more generally used in recent practice, and it need hardly be said that the main factors in connection with chain driving are the opposite to those in rope and belt driving. In rope and belt driving we have comparatively light ropes or bands transmitting small forces at a very high rate of speed; in chain driving we have heavy chains transmitting large forces at a relatively low rate of speed. Thus experience gained in the one type of drive will in no way help in laying out another, as a different set of principles is involved.

There are two principal types of chain drive. One, the old rough type, with large pitch chain, as adopted for conveyor chains, elevator chains and similar duties, the links of which are usually of cast iron (malleable), and the made up chain engages with sprocket wheels of cast iron (with chilled teeth) or manganese steel. This type of chain has served, and probably will still serve, a good purpose. The speed, however, and the pulling force must be kept relatively low. Makers' lists usually assign a maximum speed of 1,000 to 1,200 ft. per minute for chains of this class, but the conditions must be very good for chains to run at this speed. The effective pull must be kept reasonably uniform, and there must be no serious snatching and no risk of obstruction; if such occurs the chain will probably break. This type of chain is very convenient and serves many good purposes, but it can hardly be regarded as a power transmitting element for large powers.

The other type of chain is of better design altogether; the construction is entirely different, the pitch is much smaller and uniform, it is constructed with accuracy and precision, and is really a high-class job; the teeth of the wheels with which the chain engages are also machine-cut within fine limits of accuracy. This chain is suitable for transmitting large powers at relatively high speeds of rotation; providing the conditions are good it may be run up to 2,000 ft. per minute and even higher under selected conditions.

This type of chain is being used for very many purposes in the machine-tool and woodworking industries; under some conditions several sets are enclosed in the same gear-box for obtaining variable-speed drives, etc. In the cement industry chains of this type may be used as a speeding-up element from a slow-speed shaft to a higher or from a high-speed shaft to a lower. The drive can be applied to any pair of shafts at close centres; the centres may even be so close that the tips of the teeth only just clear each other. The shaft supports should be very rigid; the bearings should be close to the wheels; the chain and wheels should, if at all possible, be enclosed in an oil-tight case, and a reliable system of lubrication applied.

Spur Gear.

Power transmission by means of spur gear is also in general use. It is one of the oldest forms of transmission, and the driving of elevators, conveyors, all kinds of mills, driers, kilns, coolers, etc., is usually effected by this type of gear. Originally spur gears were cast from complete patterns, or moulded from a part pattern, by means of a moulding machine, but both methods have their drawbacks and these drawbacks impose a limitation to the amount of power that can be transmitted or the speed at which the wheels can be run.

To obtain higher operating speeds and quieter running under some conditions and for some duties, one wheel, usually of cast iron, having "dressed-up" teeth engages with wooden teeth (mortise teeth) in the other wheel. Pairs of wheels of this class could be made to transmit up to 100 H.P.; the pitch-line velocity could be kept high but the tooth pressure had to be kept down; the wooden teeth, however, had frequently to be renewed. The advantage of this type of gear was quiet running and the reduced importance of lubrication.

Subsequently cast-steel gear, pattern moulded and machine moulded, was introduced. Gear wheels made of this metal rarely broke, but frequently wore rapidly owing to poor lubrication; they were also very noisy. A great improvement was effected when machine-cut teeth were introduced.

Owing to inaccuracies in pitch it is not practicable to run pattern-moulded or machine-moulded cast-iron gears at a velocity greater than 1,700 or 1,800 ft. per minute, and even under these conditions it might prove necessary to keep the tooth pressure low. If the speed or pressure is too high the impact brought about by inaccuracy will result in broken teeth; if cast iron were replaced by cast steel, breakage will be eliminated but noise will be increased. Noise may not be seriously objectionable, but noise is an indication of impact, acceleration and deceleration with excessive wear, and as such should be reduced or eliminated entirely. Every possible care should be taken to obtain accuracy of pitch.

An immense improvement in operating conditions was brought about with the introduction of machine-cut teeth. This improvement made higher speeds and higher tooth-pressure possible; it produced quieter running and enabled efficient lubrication to be successfully applied. The improved conditions called for better installation work and demanded a higher standard of maintenance. The cost of installation is necessarily higher, but more power can be transmitted, the working life is longer and the economic return greater.

Typical but actual figures obtained from an old but very popular type of mill driven by cast-iron machine-moulded or pattern-moulded gear are given below, and compared with similar figures from a comparatively new type of mill driven by machine-cut steel gear, indicate the progress made and what is possible in gear design and operation. The old mill was driven by a cast-iron

spur rim having 100 teeth 2.85-in. pitch, 10-in. face, rotated at 26 r.p.m., and absorbed 100 brake horse power. The pitch-line velocity was 620 ft. per minute, and the tooth pressure 530 lbs. per inch of width. The new mill is driven by a cast-steel wheel having 139 teeth, 3.45-in. pitch, 12.5-in. face; it rotates at 24.5 r.p.m. and absorbs 750 B.H.P. The pitch-line velocity is nearly 1,000 ft. per minute, and the tooth pressure nearly 2,000 lbs. per inch of width. The former gear was of the open type and lubricated occasionally with grease; the other gear is totally enclosed and runs in an oil bath. The life of the latter gear promises to be very considerably greater than that of the former, although the conditions of pressure and speed are more severe.

Kiln Driving Gears.

Special reference may be made to kiln driving gears. These gears are invariably of cast steel; the tooth pressure in the early pairs is reasonably low, but in the last pair it may be as high as 4,000 to 5,000 lb. per in. of width; the velocity of the latter is very low. These gears are usually pattern-moulded or machine-moulded, and three or four pairs are usually employed. Accepting a figure of 87½ per cent. for the efficiency of each pair of gears, the possible efficiency of each gear with shaft will be, say, 85 per cent., and the overall efficiency of the drive, say, 50 per cent. (the efficiency will be higher when the gears get a good face and only a small amount of wear has taken place). If machine-cut gears were initially installed the comparative figures would possibly be 97 per cent., 94½ per cent., and 79 per cent. respectively.

Driving by Electrical Power.

Driving by electrical power is becoming general, and the practice of power distribution is entering upon an entirely different phase. Originally the manufacturing units were grouped around the power-producing unit, often to the disadvantage of the former; electric driving enables the manufacturing units to be placed in the best positions for their respective duties.

With the purchase of electrical power in bulk, alternating current is being more generally used and the type of motor needs more careful selection. It may be stated that high-torque squirrel-cage machines are becoming very popular for sizes up to 20 H.P. provided the starting-up current is not too heavy for the source of supply. Slip-ring machines are being installed for larger sizes, and when the starting-up torque and speed must be kept under control. Under direct current conditions speed and control are much more easily obtainable; there are, however, possible objections to the use of direct current machines.

Electric motors are generally high-speed units, and in most cases it is necessary to interpose a reducer of some kind between the motor and the driven unit. If the reduction is small, say up to 6 to 1, a spur reduction gear may be used; if the reduction is, say, 10 to 1 up to 30 to 1, a double-spur reduction or a worm-reduction unit must be used. These reduction units are convenient and easily installed, they can be placed in any desired position, and their controls may be grouped (remote from the motor) at any desired point.

Under some conditions it may prove desirable to couple the motor direct, through the medium of a flexible coupling, to the unit it drives; when this is done a high-speed unit may be used for fans, blowers, centrifugal pumps, etc. Slower or slow-speed motors may also be coupled in the same way to the countershaft of ball mills, tube mills, etc., and so cut out one separate gear altogether; it should, however, be mentioned that the efficiency of a slow-speed

motor will be lower than that of a high-speed machine and that the power factor will be considerably lower. If the motor is of considerable size, and the operating conditions warrant it, the machine should be of the auto-synchronous type capable of raising the power factor to any desired figure.

Another method would be to adopt a geared motor (a high-speed motor fitted with single, double or even triple reduction gear within its own casing) with the slow-speed shaft operating at the desired speed. These units are becoming very popular on the Continent. The working parts of the gear are made of alloy steel, hardened and ground; the bearings are of the ball and roller type; the unit as a whole is a high-class job and operates with an overall efficiency (electrical and mechanical) of 90 per cent. to 92 per cent. and a speed reduction of from 1,500 r.p.m. to any desired figure down to 20 r.p.m.

Generally.

With the choice of these alternatives a natural question to ask is, "Which is likely to prove the best or most efficient?" Site conditions or the duty usually determine the type of drive or gear to be adopted, though selection is sometimes possible. Efficiency must not be lost sight of; too much importance, however, should not be attached to obtaining a high figure; for high efficiency does not always prove economic. The efficiency of rope drives and belt drives has been considered, and it appears possible to obtain a figure as high as 98 per cent. under full power with good running and favourable conditions.

In considering the possibility of chain drives a line must be drawn between high-class drives and rough drives. Drives effected by high-class precision chains engaging with machine-cut totally-enclosed teeth, bath lubricated, would have an efficiency of the same order as that of a single pair of machine-cut spur gears, say, 98 per cent. On the other hand, the efficiency of a malleable-iron link-chain engaging with the rough-surface teeth of a cast-iron wheel would be very low, especially when new; the latter chain is simply an element of convenience rather than a power transmitter. The efficiency of a spur-gear drive may be very high or very low, depending upon the profile of the teeth, the uniformity of tooth pitch, smoothness of engaging surface, the unit pressure on the teeth, and efficiency of lubrication. A high-class, totally-enclosed bath-lubricated gear, with a velocity ratio of, say, 5 to 1, operating under good general conditions, will have an efficiency of 98 to 98.5 per cent. A double-reduction or triple-reduction totally-enclosed gear of the same class will under best conditions have an efficiency of 96.5 to 97.5 per cent. and 95 per cent. to 96 per cent. respectively.

On the other hand, the efficiency of rough-surface pattern-moulded gear and machine-moulded gear would be very low, probably as low as 85 per cent. to 90 per cent.; the efficiency of badly worn and heavily shouldered gear would be of the same order; under worst conditions it might be as low as 80 per cent. or even 75 per cent.

The efficiency of totally-enclosed gear-box type bevel gear may be of the order of 95 per cent. (no figures are available), but the efficiency of bevel gear as usually applied will invariably be low. Bevel-gear drives should be avoided whenever possible.

The efficiency of a worm-reduction gear will depend principally upon the velocity ratio (lead angle). If the velocity ratio is of the order of $7\frac{1}{2}$ to 1, the efficiency would be 93 per cent. to 94 per cent.; when it becomes 30 to 1 the efficiency would be as low as 85 per cent. A graph showing the rate of falling

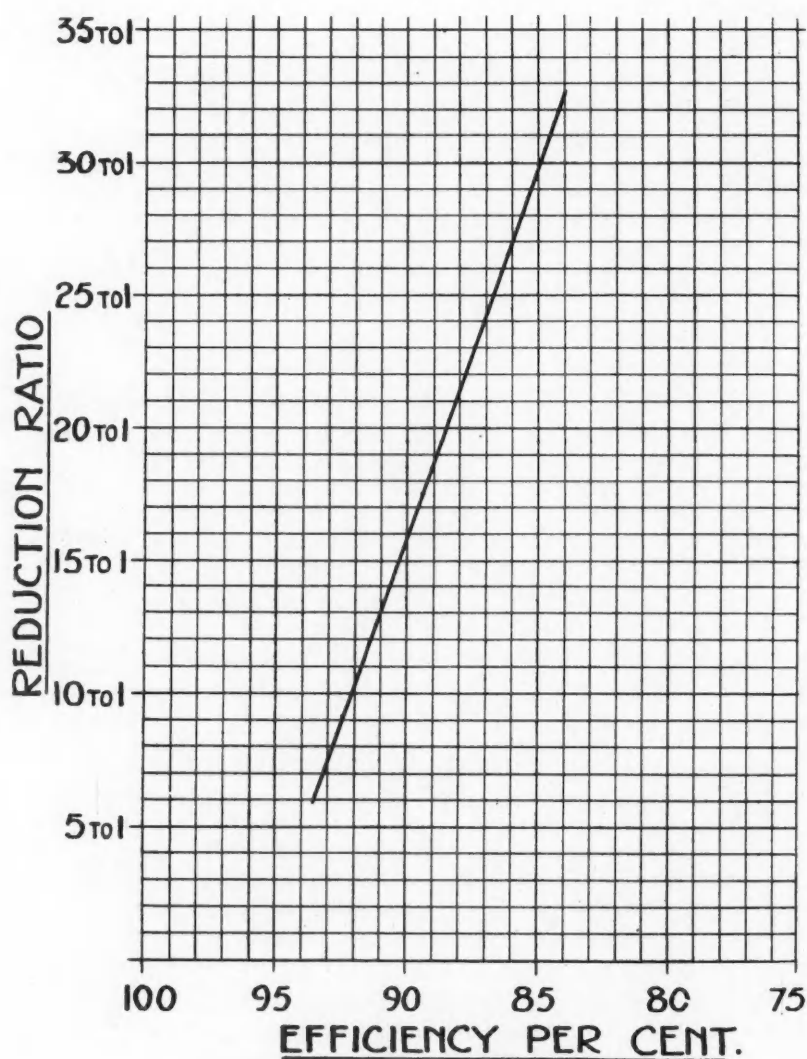


Fig. 3.—Efficiency of worm Reduction Gears.

off of efficiency of high-class worm reduction gears is given in Fig. 3. The great advantage of the worm gear is its large speed-reduction capacity and quiet running.

Variable-speed gear should also be referred to; this gear is frequently required for kiln speed, coal feed, slurry feed, extraction gears, mill feeds, etc., and for various other specific duties. There appears to be no variable-speed gear mechanically sound and of reasonable efficiency suitable for heavy duty; there are some types of small gear of, say, 20 to 25 H.P., but the controls generally are not suitable for remote application.

When direct current is available it is easily possible to obtain all reasonable speeds within the limits imposed by a maximum upper motor speed and a minimum lower motor speed. The element for obtaining this variation can also be positioned at any convenient spot remote from the motor. When alternating current is used it is necessary to adopt either a two-speed motor or a commutator-type motor. Some manufacturing units can be driven conveniently by a two-speed machine, but two speeds do not by any means satisfy all operating conditions. The commutator type alternating current motor provides a considerable range of speed variation, but up to the present it is a very costly machine; so much so that it is hardly economic. With this machine, speed variation is obtained by changing the brush position; it is possible to make this change from a remote position. This same type of machine is also used for obtaining permanent speeds widely different from synchronous speeds; in this, however, the brushes are adjusted to obtain the desired speed and then permanently fixed. A valuable principle regarding variable speed gears is: Do not attempt to do mechanically what can be effected electrically.

Summary.

An abbreviated summary of the foregoing notes is as follows:

Ropes.—Specially suitable for main drives and for transmitting large powers from and to slow running shafts. Cotton is the best material. It is not practicable to cross ropes. The most economic velocity is 4,800 ft. per minute. Efficiency at full power is 97 per cent. to 98 per cent.

Belts.—Specially suitable for secondary, light and very light drives. Velocity will depend upon the nature and duty of drive. Belts may be open or crossed. Highest possible efficiency at full power is 97 per cent. to 98 per cent.

Chains.—Divided in two classes: (1) rough drives or drives of convenience, and (2) high-class precision drives. The former are installed for convenience only; the power and speed would be low; efficiency very low. The latter class may fulfil important duty; the speed may be high, also the amount of power transmitted; it will operate at very close centres; efficiency at full power when totally-enclosed and bath-lubricated is 97 per cent. to 98 per cent.

Gear.—Divided principally into spur and bevel, rough-class gear, and high-class gear. Spur gear is universally used (a) pattern moulded and machine moulded for low and medium pressures and velocities; (b) machine-cut precision gear for high pressures and high velocities. Highest possible efficiency when machine-cut and bath lubricated is 97 per cent. to 98 per cent.

Owing to the difficulties in accurately constructing, lining-up, and maintaining alignment of bevel gear, the velocities, tooth pressure and power of this gear will always be lower than for spur gear; the efficiency will also be lower. Bevel gears should be avoided if at all possible.

Electrical.—Where power can be obtained cheaply, electrical drives on the unit system should be adopted; the speed of the motor, with the resultant effect of any reduction necessary, must be considered on an economic basis. The efficiency of the motor will be 90 per cent. to 94 per cent. or 95 per cent. at full load. The efficiency of the reduction gear to be obtained from data given earlier.

Variable.—Speed variation can be obtained more satisfactorily by electrical means than in any other way. Direct current at present provides best economic facilities for any reasonable variation, with the advantage of easy remote control.

Cement Works in Latvia.

We understand that a second cement factory is shortly to be put into operation in Latvia. An old plant at Schlock, near Riga, has been purchased from the Latvian Bank by E. Eljaschew.

Swedish Cement Union.

It is reported that the Vallerikens Cement Fabrik has joined the Cement Union. There now remain only two small companies outside the Swedish cartel, namely, Slite and Gullhøgen.

Amalgamation in Morocco.

It has been finally agreed that the S.A. Chaux, Ciments et Matériaux de Construction au Maroc should come under the control of the Lafarge interests and that it should work in co-operation with the Société Marocaine des Ciments Lafarge. The company is increasing its capital to 22,000,000 francs (£177,000).

EDITOR'S NOTE.

THE Editor of International "CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE" invites readers of this journal to submit articles for publication. Manuscript may be submitted in English, French, German or Spanish, and will be translated into the other three languages by specialist translators.

Articles are invited on any new ideas or developments in the manufacture, chemistry or testing of cement, or allied subjects of general interest to the cement industry. Descriptions and illustrations of new cement plants in any part of the world are also invited. Liberal payment is made for suitable contributions.

Manufacturers of Cement-making Plant are also invited to submit information and illustrations relating to new plant developed by them and new installations of their plant.

Such matter should be addressed to: The Editor, "CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE," 20, Dartmouth Street, Westminster, London, S.W.1, England.

Hot Cement.

By N. DAVEY, B.Sc., A.M.Inst.C.E.

(BUILDING RESEARCH STATION, WATFORD).

By the term "hot cement" is here meant that the cement is hot to the touch. The cement becomes hot through the frictional heat developed during grinding, and generally the finer the cement is ground the higher will be its temperature when it leaves the mills.

It often happens that cement, and more particularly rapid-hardening cement and cement stored in paper bags, is appreciably hot to the touch when it arrives at its destination; uncertainty has sometimes existed as to the quality of concrete which would result from its use.

Apart from tests carried out by the Tennessee Highway Department, Nashville, U.S.A., referred to in the Proceedings of the American Concrete Institute for the year 1929, page 434, there is little information available on this point. The American tests showed that so long as the cement met with the physical requirements of the American Society for Testing Materials Specification for Portland Cement, the temperature at which the cement was received on the construction job was not important. There was found to be no significant difference in either compressive or tensile strength or in other characteristics, although a slightly earlier setting time was noted.

The Building Research Station undertook a number of tests on a normal Portland cement conforming to the British Engineering Standards Association Specification for Portland Cement, and the results which are recorded here confirm the results obtained in America.

TABLE 1.
CHEMICAL ANALYSIS.

SiO ₂	...	...	...	...	22.18
Al ₂ O ₃	...	...	...	...	5.10
Fe ₂ O ₃	...	...	...	...	3.69
TiO ₂	..	...	...	...	0.69
CaO	...	...	...	...	63.10
MgO	...	...	...	...	1.51
Na ₂ O	...	...	...	...	0.42
K ₂ O	...	...	...	...	0.82
SO ₃	...	...	...	...	2.17
Loss (by difference)	...	...	...	...	0.32
					100.00

Sieve Analysis—

Residue on 180×180 mesh sieve, 7.26 per cent.
 " 76×76 " 0.21 per cent.

Soundness—

Le Chatelier, 9 mm. expansion (not aerated).
 2.5 mm. expansion (aerated 24 hours).

Tensile Strength—

Neat—7 days, 816 lbs. per sq. in.
 Sand mortar—7 days, 372 " "
 " 28 " 451 " "

Arrangements were made with one of the Portland cement manufacturers which enabled representatives of the Building Research Station to visit their works and to collect samples of cement immediately it left the grinding mills. The temperature of the cement on the conveyor belt transporting the cement from the mills to the storage silos was 140 deg. C.

The first tests for setting time and the preparation of sand mortar briquettes were carried out in the testing laboratory at the works with cement which was half-an-hour old. The temperature had fallen from 140 deg. to 122 deg. C., but this temperature was still much in excess of the temperature which cement is likely to have when it reaches its destination. The Standard Specification test figures for the cement cooled to 16 deg. C. two days after leaving the kiln are given in Table 1.

By using specially-made containers and vacuum flasks, the cement collected

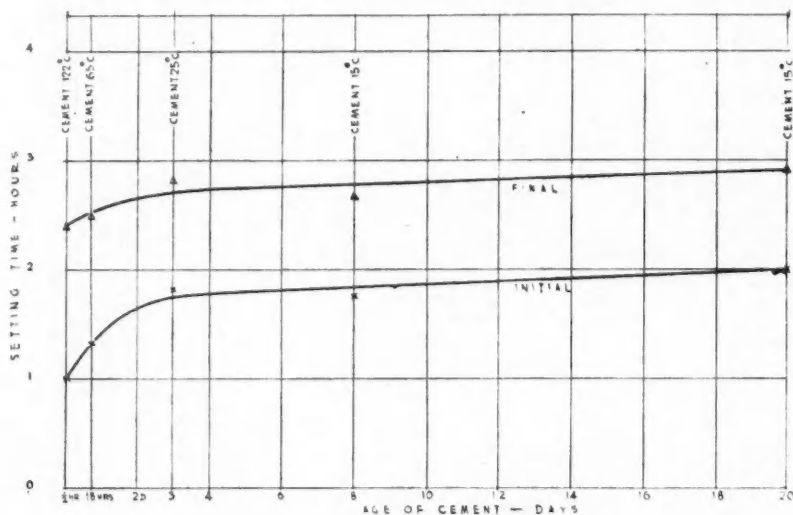


Fig. 1.—Setting Time of Hot Cement.

at the mills at a temperature of 140 deg. C. was transported to the Building Research Station without a serious loss of heat. Thus tests which had been carried out at the works could be repeated at various intervals of time as the cement cooled. The first series of concrete test pieces was prepared at the Building Research Station with cement which had a temperature of 120 deg. C., and was under four hours old.

The setting-time tests in Table 2 and the tensile strength tests in Table 3 were carried out on samples prepared from cement stored in large vacuum flasks, while the concrete was prepared from samples stored in specially-made insulated containers of larger capacity. Loss of heat from the two types of container was different, and consequently the temperature at any given time varied somewhat. For example, after 18 hours' storage the temperature of the cement in the flasks was 65 deg. C., but in the larger containers it had fallen to 30 deg. C.

For the setting-time tests the neat cement was gauged with just sufficient water to give a consistence represented by a penetration of 5 mm. of the Vicat plunger. This consistence corresponded to a spread of 5 in. on the flow table. When the cement was hot more water was required to produce this consistence. The figures in Fig. 1 show that hot cement sets more quickly than cooled cement, and that the effect is more marked in the case of initial setting time. There was, however, a difference of only half-an-hour in the final setting time between cement which was 122 deg. C. at the time of mixing, and that which was only 15 deg. C. This difference may be considered of little importance.

The tensile strength figures of 1:3 standard sand mortar briquettes, stored in water for 2, 6, and 27 days after 1 day in moist air, are recorded in Table 2. The strength of briquettes prepared with cement which was 122 deg. C. before

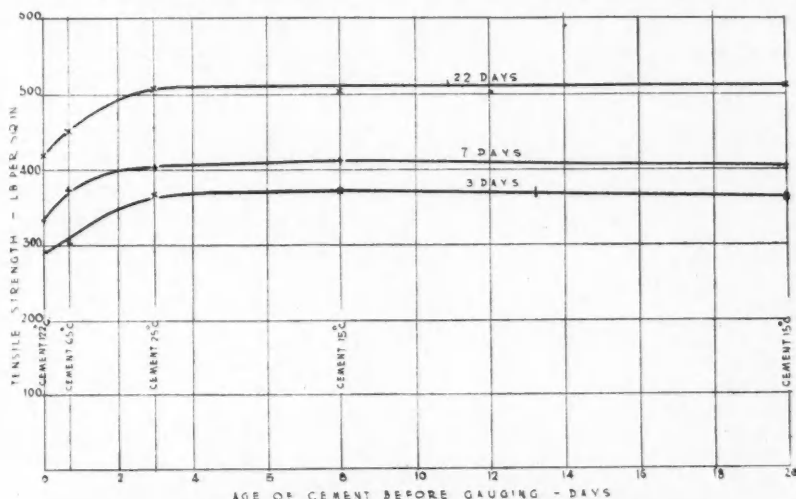


Fig. 2.—Strength of Sand Mortar Briquettes prepared with Hot Cement.

adding sand and water was lower than that obtained with cement at 15 deg. C., and varied from a reduction of 21 per cent. at three days old to 16.5 per cent. at 28 days old. But all the cement passed the British Engineering Standard Specification requirements.

The crushing strengths of concrete prepared from cement of various temperatures are given in Table 4, and show that in such a mix as 1:2:4 where the cement content is relatively small there is no apparent effect on the strength, probably due to the rapid dissipation of heat to the aggregate and water. A cylindrical compression test piece 8 in. by 4 in. diameter was used. The crushing stresses determined from this test piece have been shown by experiments at the Building Research Station to be approximately 75 per cent. of the crushing stress obtained on a test piece in the form of a cube (a form used in many laboratories). The corresponding strength of a cube would therefore be about 30 per cent. greater than those recorded in Table 4.

Statistical analysis of the strength tests included in Tables 2 and 3 shows that a definite significance may be attached to the small variations in strength

in specimens mixed within 18 hours of grinding. The variations are, however, small, and represent a maximum of 10 per cent. decrease of strength of the mortars, but an increase of strength in the concrete. The differences in strength between specimens mixed at later dates after grinding are not significant. In general, it may be concluded that the effects of using "hot" cement under conditions likely to be found on a job are unimportant.

A section of concrete road was laid on July 23rd, 1929, in the presence of a representative of the Building Research Station. The section was approximately 70 sq. ft. in area, and was beside a landing stage, where it was liable to very rough usage. The total thickness of the slab was $7\frac{1}{2}$ in., the bottom 5 ins. being composed of a mix in the proportions of $1\frac{1}{2}$ cu. ft. Portland cement, $2\frac{1}{2}$ cu. ft. gravel, and 2 cu. ft. of brick rubble. The mix was stiff, and required a great deal of punning. The top surface, $2\frac{1}{2}$ in. in thickness, was in the proportions of 1 cu. ft. Portland cement, 1 cu. ft. crushed shingle ($\frac{1}{2}$ in. down), and $1\frac{1}{2}$ cu. ft. gravel. Sufficient water was added to the mix to produce a consistence approximating to a slump of 4 to 5 ins.

The temperature of the cement used was 115 deg. C. when it was emptied on to the mixing board. The temperatures of a batch of concrete used for the top surface were as follows:—

Temperature of cement	...	...	...	...	115 deg. C.
Temperature of water	...	...	...	...	22 deg. C.
Temperature of cement and ingredients mixed dry	...	...	...	...	40 deg. C.
Temperature of cement and ingredients mixed wet	...	...	...	...	32 deg. C.

These figures are representative of the concrete used for the surface of the whole panel.

Traffic was allowed on the slab after two days, and the concrete was kept moist in the meantime. After eleven weeks of heavy use, the concrete was inspected by a representative of the Building Research Station. The concrete was in excellent condition, there being no cracks visible, and no signs of disintegration.

TABLE 2.—SETTING TIME OF HOT CEMENT.

(1) Age of cement.	(2) Condition of storage.	(3) Temperature of cement before mixing water was added.		(4) Temperature of cement paste at time of moulding.		(5) Amount of mixing water used. Per cent. of dry material.*	(6) Setting time. Initial. Final.		Remarks.
		Deg. Cent.	Deg. Fahr.	Deg. Cent.	Deg. Fahr.		hr. min.	hr. min.	
Half-an- hour	Straight from mill	122	252	36	97	24.5	1 0	2 25	Tested at works
18 hours	Stored in vacuum flask	65	149	31	88	24.0	1 20	2 30	Tested at B.R.S.
3 days	do.	25	77	23	73	23.0	1 50	2 50	do.
8 days	do.	15	59	15	59	22.5	1 45	2 40	do.
20 days	do.	15	59	15	59	23.0	2 0	2 55	do.
14 days	Aerated for 14 days in 3-in. layers.	14	57	14	57	23.5	2 55	4 15	do.

*To produce a consistence represented by a penetration of 5 mm. of the Vicat plunger and corresponding to a spread on the flow table of 5 ins.

TABLE 3.—TENSILE STRENGTH OF SAND MORTARS PREPARED FROM HOT CEMENT.

(1) Age of cement.	(2) Condition of storage.	(3) Temperature of cement before mixing.		(4) Temperature of mortar at time of moulding.		(5) Amount of mixing water per cent. of cement.	(6) Tensile strength: lb. per square in.		
		°C.	°F.				3	7	28 days
$\frac{1}{2}$ hr.	(a) Straight from mill	122	252	30	86	7.5*	300	300	408
							320	300	436
							260	335	432
							290	400	404
							300	340	400
							†	330	440
							§Average	294	334
							Probable error ..	± 5.91	± 9.22
18 hours	(b) Air- tight con- tainer	65	149	24	75	7.0	320	382	454
							284	366	472
							318	372	448
							300	350	466
							288	378	432
							308	384	438
							§Average	303	372
							Probable error ..	± 3.79	± 3.18
3 days	(c) Air- tight con- tainer	25	77	19	66	7.0	354	404	528
							392	392	490
							370	420	510
							372	400	522
							358	414	534
							356	388	472
							§Average	367	403
							Probable error ..	± 3.61	± 3.11
8 days	(d) Air- tight con- tainer	15	59	15	59	7.0	376	390	508
							370	428	486
							350	392	468
							396	410	512
							392	432	530
							350	408	506
							§Average	372	410
							Probable error ..	± 4.98	± 4.11
20 days	(e) Air- tight con- tainer	15	59	15	59	7.0	360	380	516
							342	396	478
							384	412	494
							376	420	522
							340	398	518
							370	396	532
							§Average	362	400
							Probable error ..	± 4.54	± 3.52
14 days	(f) Aerated for 14 days in 3 in. layer.	14	57	14	57	7.0	308	360	516
							296	390	480
							342	366	498
							348	394	542
							326	418	476
							358	394	534
							§Average	329	387
							Probable error ..	± 6.06	± 5.32

* This series of briquettes was prepared in the laboratory at the Cement Mills.

† This set of tests was conducted at the cement mills. All the remaining tests were carried out at the Building Research Station.

§ The "probable error" is calculated from the variation in a sample set of observations, and indicates the limits within which half the observations of a large sample may be expected to fall.

TABLE 4.—COMPRESSIVE STRENGTH OF 1 : 2 : 4 : CONCRETE PREPARED FROM HOT CEMENT.

Details of mix :—One part by weight of cement ; Two parts by weight of Ham River special sharp washed sand through $\frac{1}{2}$ -in. mesh ; Four parts by weight of Ham River crushed washed shingle between $\frac{1}{2}$ -in. and $\frac{3}{4}$ -in. mesh.

Note :—The amount of mixing water added was sufficient to produce a mix of consistence represented by 1-in. slump.

(1) Age of cement.	(2) Condition of storage.	(3) Temperature of cement before mixing.	(4) Temperature of mortar at time of moulding.	(5) Amount of mixing water per cent. of cement.	(6) Compressive strength : lb. per square in.		
		Deg. C. Deg. F.	Deg. C. Deg. F.		3	7	28 days
3½ hours	Air-tight con- tainers	120 248	28 82	68	478	900	2550
					475	845	2518
					467	955	2340
					518	1005	2322
					502	1116	2415
					—	1054	2145
					Average	488	980	2382
Probable error ..	± 5.73	± 23.81	± 37.17				
18 hours	Air-tight con- tainers	30 86	23 73	68	574	1064	2682
					595	1060	2670
					609	1108	2776
					507	1148	2785
					585	1075	2475
					607	1044	2734
					Average	579	1083	2687
Probable error ..	± 8.84	± 9.62	± 28.66				
3 days	Air-tight con- tainers	19 66	18 64	68	602	995	2320
					545	850	2245
					520	932	2552
					517	850	2490
					517	935	2460
					432	888	2425
					Average	522	908	2415
Probable error ..	± 13.81	± 14.22	± 28.54				
8 days	Air-tight con- tainers	15 59	15 59	68	463	1112	2570
					466	1086	2668
					508	1032	2566
					503	1050	2612
					500	872	2585
					467	865	2385
					Average	485	1003	2564
Probable error ..	± 5.33	± 27.09	± 24.02				
14 days	Air-tight con- tainers	14 57	14 57	68	425	916	2600
					379	923	2445
					429	950	2392
					407	1045	2530
					413	953	2552
					405	—	—
					Average	410	957	2504
Probable error ..	± 4.48	± 13.92	± 26.67				

The Rotary Kiln in Cement Manufacture.—II.

By W. GILBERT, Wh.Sc., M.Inst.C.E.

THE writer has in the course of professional practice supervised the testing of rotary kilns for fuel consumption and output at nineteen separate plants. In course of time a system of procedure has been elaborated. It is now proposed to describe generally the method of making the more important measurements which are necessary, and later to give details of a representative test. A Heat Balance will be worked out, and the saving in coal possible in that particular instance will be indicated.

Period of Test.

The test on a rotary kiln usually lasted for one week. The period necessary depends partly on the quantity of coal in the various hoppers and in the coal drying and grinding machines, which has to be estimated at the beginning and at the end of each test. Too short a period would make errors of estimation proportionately large. The rate of output from the kiln also varies daily to some extent, owing perhaps to the formation of a clinker ring, to short stoppages, to small changes in the moisture and composition of the slurry, or to the fine coal not being sufficiently dry.

Hence a test to be representative must extend over a period of several days. Time is also necessary in order that a research engineer not previously accustomed to the working of the plant may properly grasp the working of the kiln, with its attendant coal drying and grinding machinery, in all its details.

Raw Coal Measurement.

Up to the present, in England, automatic coal weighing machines are not universally used in cement plants. The management knows approximately the weight of coal purchased and the weight of cement sold, and a ratio between the two is usually obtained half yearly, due allowance being made for stocks.

The raw coal generally reaches the works (a) by railway wagons or (b) by barge.

Coal by Rail.—If the works has a weighbridge large enough to take a loaded coal-wagon the problem is relatively simple, since the wagons used during the test can be weighed full and afterwards empty, a suitable record being made. Alternatively it is at times practicable to have the wagons weighed at the nearest railway weighbridge.

If a weighbridge is not available it is often possible to shovel the coal direct from the railway trucks into wheelbarrows. The coal is then weighed in $2\frac{1}{2}$ -cwt. lots on a platform weighing-machine. It is convenient to make up the empty barrows to the same weight and to weigh exactly $2\frac{1}{2}$ cwt. each time; this simplifies the records.

For a one-kiln plant with a 200-ft. kiln it will be necessary to weigh out about 350 tons of coal in seven days, or 168 hours, and double that quantity for a two-kiln plant.

Coal by Barge.—Deliveries by barge are usually intermittent and in relatively large quantities. The coal is often deposited in a flat-bottomed store or shed. From thence it can be weighed out in $2\frac{1}{2}$ -cwt. lots, in barrows, as previously described. Practice shows that the men barrowing the coal cannot always

For Figs. 1—7, see January Number.

be relied upon to bring the coal to the exact weight, or accurately to record the number of barrows weighed; hence it is usually necessary to provide three clerical assistants, one for each 8-hour shift, to supervise the coal-weighing operation.

Special Methods of Coal Measurement.—If, as is often the case, the raw coal drying and grinding plant serves more than one kiln, such kilns have to be tested as one unit. In special cases, however, the writer has tested one kiln of a group by weighing out the dry powdered coal in a thin steel-plate hopper of 500 lbs. capacity mounted on a platform weighing-machine. The weight was indicated on a dial of large diameter, thus ensuring ease and rapidity of measurement. It was necessary to provide an additional elevator and two conveyors for filling and emptying the hopper, and suitable inlet and discharge valves. Flexible connections were made to the inlet and outlet, and the apparatus was rendered dustproof in working.

Another method sometimes adopted for measuring the weight of powdered coal supplied to a single kiln is to record the number of revolutions of the feed screws at the base of the hopper on the burning platform, and to obtain a figure, by suitable measurement, for the weight of fine coal discharged per revolution of each feed screw. This method will be again referred to in the test to be described. It should only be used when a direct measurement of the raw coal used is impracticable.

Raw Coal Moisture.—The percentage of moisture in the raw coal should be determined when it is weighed. If the coal is weighed in barrows, a small measure-full is taken from each barrow and placed in a covered receptacle. The quantity obtained on each 8-hour shift is suitably mixed and quartered down, and two moisture determinations finally made on it. For coal delivered in railway wagons it is generally convenient to take measured samples at regular intervals during unloading from the conveyor which delivers into the raw-coal hopper above the coal drier.

Moisture in Dried Coal.—The moisture in the dried coal is required in order to obtain the efficiency of the coal drier. A small measure-full of the coal leaving the drier is taken hourly and placed in a covered bin. The contents are mixed and quartered down every eight hours, and two moisture determinations made from the average sample.

Calorific Value and Moisture of Pulverised Coal.—It is relatively easy to get a representative sample of powdered coal for estimation of calorific value by taking hourly a small measure-full of the coal as it enters the coal-firing pipe. The samples obtained on each eight-hour shift are mixed and quartered down, and two estimations of calorific value and moisture made on the average sample. As a rule, the moisture in the fine coal is a little less than the moisture in the coal leaving the drier, since a certain amount is lost in the grinding operation.

Coal Fineness of Grinding.—Samples were taken hourly of the coal leaving the grinding mill, and tested for residue on the 180² and the 100² sieves.

CLINKER MEASUREMENT.

At many plants the clinker is delivered direct from the cooler end into trucks of 20 in. or 24 in. gauge, holding from 1 to 1½ tons; such trucks are then weighed on a platform weighbridge, and afterwards tipped either to the grinding plant or to the stock heap. It is generally necessary to test the

weighing machine with standard (56 lb.) weights, and to make sure that a suitable man is provided on each shift to supervise the weighing and to record the result.

Rotary Weigher.—At other plants a rotary weigher for clinker has come into use; a diagram of it is shown in Fig. 8, and a reference table is provided. A small hopper may be arranged suitably to feed the clinker into the drum.

On the contents of a quadrant reaching the correct weight the drum sinks; this movement clears the stops G from the stop pieces F, and the drum, being out of balance, rotates, discharging the weighed clinker. As soon as the clinker commences to leave the quadrant the weights on lever C restore the drum to its original level, and the automatic stop mechanism prevents the drum from rotating more than one-quarter of a revolution. The drum is retained in position during filling by the spring-controlled lever H.

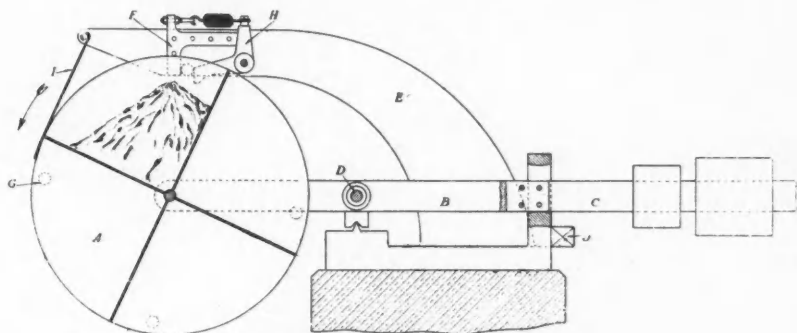


Fig. 8.—Rotary Weigher for Clinker.

A—Rotating drum; E—Side levers carrying drum and knife-edge supports; C—Central lever carrying weights; D—Distance bar; F—Fixed framework of machine; G—Stop-pieces bolted to each side frame; H—Lever with spring control; I—Guard plate; J—Reciprocating counter.

The delivery per quadrant is not always uniform, and, during a test, the weighing should be checked at regular intervals by catching the delivery from each quadrant in a suitable receptacle and weighing the contents on a platform machine. At one plant the average delivery from the four quadrants was 232 lbs. per quadrant, the maximum delivery recorded was 242 lbs., and the minimum 220 lbs. At another plant the rotary weigher was tested twice daily for a week, each quadrant being numbered. The result was as follows:—

Quadrant number.	Maximum weight recorded (lbs.).	Minimum weight recorded (lbs.).	Average of all weighings (lbs.).
I	101.5	90.8	94.5
II	95.8	87.5	92.6
III	96.3	85.7	90.9
IV	92.8	87.5	89.8

In operation the machine is reliable, since it will weigh continuously with little attention. For test purposes, however, a platform machine is preferable.

ANALYSIS OF WASTE GASES.

The composition of the waste gases is determined in order that the excess air may be kept within suitable limits, say, from $2\frac{1}{2}$ to $7\frac{1}{2}$ per cent. For this purpose the percentage of oxygen present is all that is desired.

The gases are usually collected by a pipe of $\frac{1}{4}$ in. diameter which projects about 2 ft. into the exit end of the kiln. For support, the $\frac{1}{4}$ -in. pipe may be passed down the inside of a pipe of $1\frac{1}{2}$ in. diameter, the latter resting on a suitable rail fixed near the end of the kiln. The $\frac{1}{4}$ -in. pipe readily chokes with slurry which is carried into the end by the gases, hence it must be capable of ready withdrawal for cleaning purposes. On most kiln tests an Orsat apparatus was used, and about four estimations of CO_2 and O_2 were made per hour during the day. Preferably the readings should be continuous throughout the 24 hours, but this was not done owing to shortage of staff.

Oxygen Recorder.—Since the waste-gas analysis is an important measurement a continuous record would be advantageous, and accordingly an oxygen recorder was tried at a few plants. The instrument is relatively expensive to fit up in position if it is only required for a short period. The gas is drawn into the apparatus, measured, and expelled by the action of water which is drawn from a tank fixed about 5 ft. above the instrument. The absorbing agent is phosphorus. The percentage of O_2 in the gas is recorded on a chart driven by clockwork, and about 15 readings can be obtained per hour.

The water obtainable on a cement plant often contains sediment, grit, or other foreign matter near the upper end of the kiln. It was found that a 1 in. diameter stop-valve under 5 ft. head when open $1/300$ th of an inch would supply all the water required, and stoppages due to the choking of this aperture were frequent. Ultimately the water was supplied to the apparatus through nozzles, about $\frac{1}{8}$ in. in diameter working under a head of 4 in., and each nozzle was surrounded with a circular sieve of 30-mesh wire. With continuous working the gas did not become sufficiently cool before reaching the instrument, so that a small condenser with $\frac{1}{4}$ in. brass tubes was provided. If it was necessary to place the recorder some little distance from the kiln end considerable trouble was experienced in making the iron gas-pipe joints absolutely air tight.

The drawing-in pipe at the kiln end had to be kept clear of dried slurry, and it was often not manifest from the recorder chart whether the pipe was choked or not, since the instrument would go on recording. Ultimately it was found desirable to keep a continuous check on the readings of the oxygen recorder by means of the Orsat apparatus, and under these circumstances the use of the Orsat apparatus alone was judged to be sufficient.

At one or two of the plants, however, some useful information was obtained by comparing the O_2 recorder charts with charts taken from a speed-recorder driven from the shafting of the fine-coal feed-screws. Rotary kilns are usually operated under conditions of constant air supply, and it follows that the percentage of O_2 in the waste gases will depend on the rate at which coal is being fed to the kiln. Hence, if an increase of speed of the coal-feed screws was not followed by a corresponding reduction of the O_2 percentage in the waste gases, it was assumed that the fine coal was hanging up in the hopper; and, conversely, any flushing of the fine coal past the feed screws could be detected and measured in the same manner.

Ultimately similar information was obtained at each plant by counting the coal-feed screw revolutions per minute during the time gas was being drawn out of the kiln end for analysis by the Orsat apparatus.

The writer considers, however, that for permanent use an O_2 recorder, if carefully installed and supervised, would prove a considerable asset on many cement plants.

TEMPERATURE MEASUREMENTS.

The more important measurements were made by copper-constantan thermocouples enclosed in steel sheaths. They were used in conjunction with thread recorders (quadruple, double, and single), and a portable indicator. Temperatures below 350 deg. F., if a continuous record was not desired, were taken, where convenient, on mercury in glass thermometers.

Kiln-Exit Gas.—The pyrometer for the kiln-exit gases should be placed not more than 6 in. from the outside end of the kiln, and opposite the centre of the opening, on either side of the slurry pipe alternately. This gives an average reading which is sufficient for general works use. If the pyrometer end can "see" the wet and relatively cool slurry surfaces in the kiln end, the reading may be somewhat too low. The extent of the error is now being investigated.

Between the kiln end and the chimney base the waste-gas temperature rapidly falls owing to the leakage of cold air into the flues. Hence the temperature at the chimney base was also observed.

Surface Temperature Pyrometer.—For measuring the surface temperature of the kiln shell and the cooler shell in various positions previous to the calculation of radiation loss, the type of pyrometer indicated in Fig. 9 was used. The copper and constantan wires forming the thermal junction were embedded in a copper disc $\frac{3}{8}$ in. diameter and $\frac{3}{32}$ in. thick. The pyrometer-sheath was cut away as indicated, and the open end closed with asbestos packing. The remainder of the sheath was of the usual design. To obtain a reading of surface temperature the kiln was stopped for about 30 seconds and the copper pad pressed against the shell, any rust or dirt being previously scraped away. The copper pad is heated on the front surface by conduction and cooled on the back surface by radiation and convection, but should proper contact be made with the kiln shell it is probable that the error will not exceed one or two degrees. As soon as the reading of the indicator becomes steady the pad should be moved about 2 in. along the shell, and a slightly increased reading will usually be obtained. For these observations it is convenient to have a set of compensating leads about 30 ft. long. The method of using the shell temperature measurements for calculation of kiln and cooler radiation will be described later.

Hot-air Pyrometer.—It is not practicable to measure the temperature of the air entering the kiln from the cooler by an ordinary pyrometer inserted in the base of the kiln hood, because radiation from the falling clinker and from the adjacent hot firebrick surfaces causes the reading to be too high. A similar effect may be observed by holding a mercury thermometer close to an ordinary fireplace; a considerable temperature will be recorded owing to the radiant heat from the fire, although the air entering the grate may be nearly at the temperature of the room.

After considerable experiment the method finally adopted was to pump a small quantity of hot air out of the clinker chute, or out of the base of the kiln hood, and to measure its temperature when the radiated heat was cut off. This arrangement is shown in Fig. 10, where the hot air leaving the cooler is being withdrawn from the base of the kiln hood. The temperature measured is usually from 600 deg. to 800 deg. F.

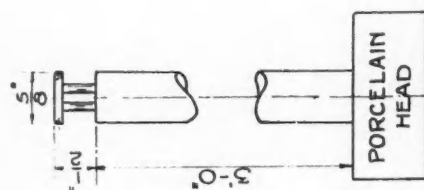


Fig. 9.—Surface Temperature Pyrometer.

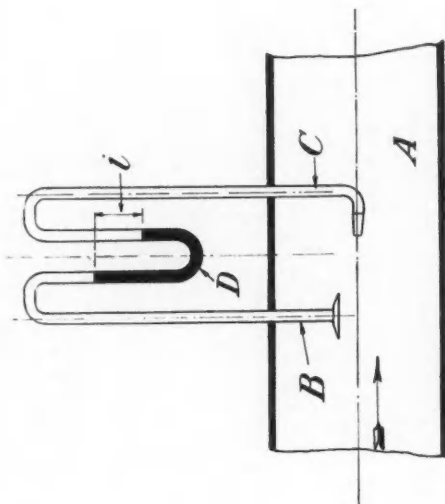


Fig. 11.—Diagram of Air Flow in Pipe.

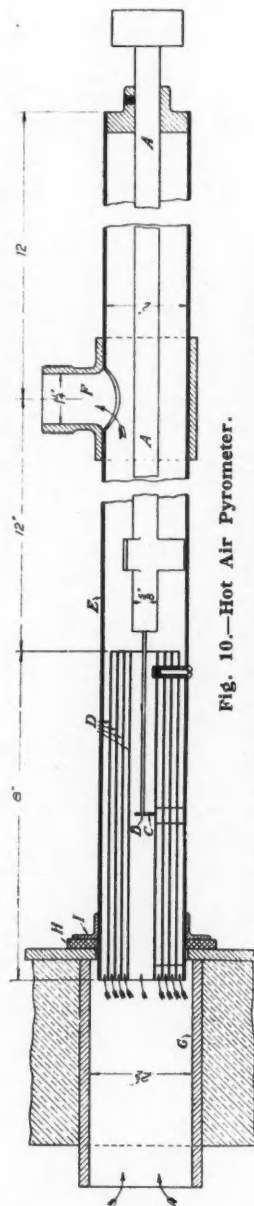


Fig. 10.—Hot Air Pyrometer.

A—Pyrometer sheath with porcelain head and three support wings; B—Copper constantan thermo-couple; C—Three support wires for couple; D—Four polished steel tubes, spaced apart, and secured to outer tube E; E—Outer steel tube; F—Connection to hand power exhaustor; G—Pipe built into base of kiln head; H—Asbestos packing ring; I—Angle ring clamped to tube E.

In the position in which the pyrometer is used the reading will be too low unless means are taken to prevent radiation to the atmosphere from the surface immediately surrounding the thermo-couple. Each tube of the multiple bush arrangement is heated by convection due to the forced circulation, but the heat thus imparted has to be radiated from tube to tube, and finally all of it from the outer surface of the outer tube. Hence by taking a sufficient number of tubes the error due to radiation loss may be reduced to one or two degrees Fah. A steady reading of the indicator is usually obtained after operating the exhaustor for six or seven minutes.

AIR MEASUREMENTS.

The air measurements required are usually the quantity of air entering the kiln by:—(a) The coal-firing pipe; (b) the clinker chute; (c) packing-ring leakage; (d) hot-air pipes or ports.

In many plants there is a system of piping by means of which hot air is supplied for drying purposes from the cooler to the coal drier, or a separate furnace may be used. The hot air is usually passed both round the outside of the drier shell and through the interior. It is often necessary to measure the rate of hot-air flow in pipes or passages of the above description.

General Remarks on Air Flow.—Suppose we have a pipe or conduit (A, Fig. 11) through which air is flowing uniformly in the direction of the arrow, and let brass tubes with suitably formed ends be inserted and connected to a U-tube water-gauge marked D. The tube ends are shown to a larger scale in Fig. 12. The tube B, which terminates in a brass disc parallel to the direction of air flow, will transmit to the water gauge D the static pressure, or compression of the air. The tube C, which has a bevelled end facing the air stream, will transmit both the static pressure and the pressure due to the velocity of the air in pipe A. Hence the water-gauge D, which measures the difference between the pressures in the two tubes, will indicate the pressure (or head) due to velocity only. The brass disc at the end of pipe B has been found necessary, and sufficient, to prevent an inaccurate reading of the static pressure due to inductive action.

The arrangement of facing tube C in Fig. 11 was introduced by Pitot, and the disc at the end of static tube B by Darcy, but for convenience any combination of tubes for air measurement will be here referred to as Pitot tubes.

The measurement, in inches of water, of the pressure due to the air velocity is what is usually required in practice, and from this observation the quantity flowing through a pipe or tube can be calculated in a manner presently to be described. It is found, however, that a special and more elaborate form of the water gauge D is necessary, since many of the observations made do not exceed $1/50$ th of an inch of water column.

A Pitot tube arrangement suitable for measuring the air velocity in the clinker chute of a rotary kiln is shown in Fig. 12. Since the tubes are subjected to a high temperature brazing is not admissible; hence a simple form of construction is used, and there are no small orifices to become choked with the dust which is always present in the clinker chute. The total length of the tubes may be about 4 ft., three clips being used.

For use with cold air free from dust a compact arrangement of Pitot tubes has been introduced by the National Physical Laboratory.

A robust modification of the design suitable for cement plant use is shown in Fig. 13. The total pressure is measured by the inner tube A, which is

arranged to face the air stream, whilst the static pressure is observed by means of the small holes drilled through the outer tube B. The tube A, and the space between the two tubes, are separately connected one to each limb of the water gauge by rubber tubes fitting over the terminals C and D. The joints are welded (not brazed) to withstand immersion in air or gases heated up to 800 deg. or 900 deg. Fah. The Pitot tube arrangement shown in Fig. 12 is generally used for air measurements in brickwork flues, since it can be made of any reasonable length. The form shown in Fig. 13 is used for steel-plate pipes and trunks.

Tilting Water Gauge.—The water gauge, due to the air velocity in the various pipes and flues of a rotary-kiln plant (excepting the coal-firing pipe), usually

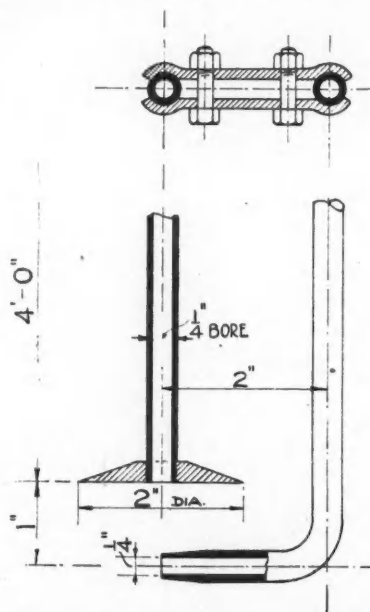


Fig. 12.—Pitot Tubes for Clinker Chute.

ranges from $\frac{1}{4}$ in. to $\frac{1}{100}$ in. or less, and the special form of water gauge used is shown in Figs. 14, 15, and 16. A table of reference is provided. In principle the apparatus is an ordinary U-tube water gauge, the modifications being that a microscope is used to observe the water level in one limb, and a micrometer arrangement is adapted in conjunction with the microscope to measure the displacement of the water level when an observation has to be made. The glass vessels A_1 and A_2 , together with the connecting tube B, correspond to the ordinary U tube.

It will be seen that the upper iron frame carrying the glass vessels is supported at three points. The supports rest in shallow conical cups, slightly flattened at the apex, thus giving a small degree of lateral freedom. The upper and lower frames are held together by the spring K.

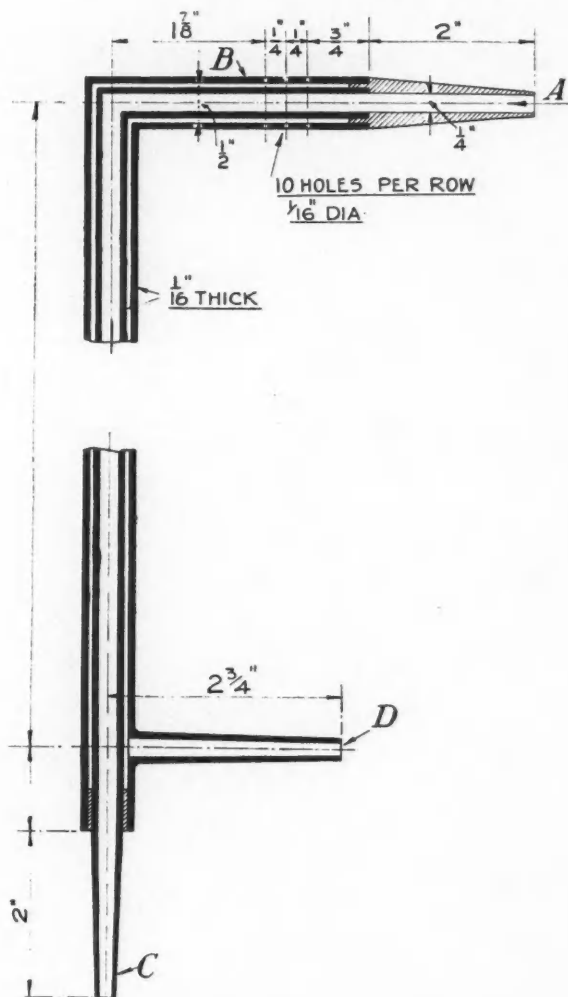
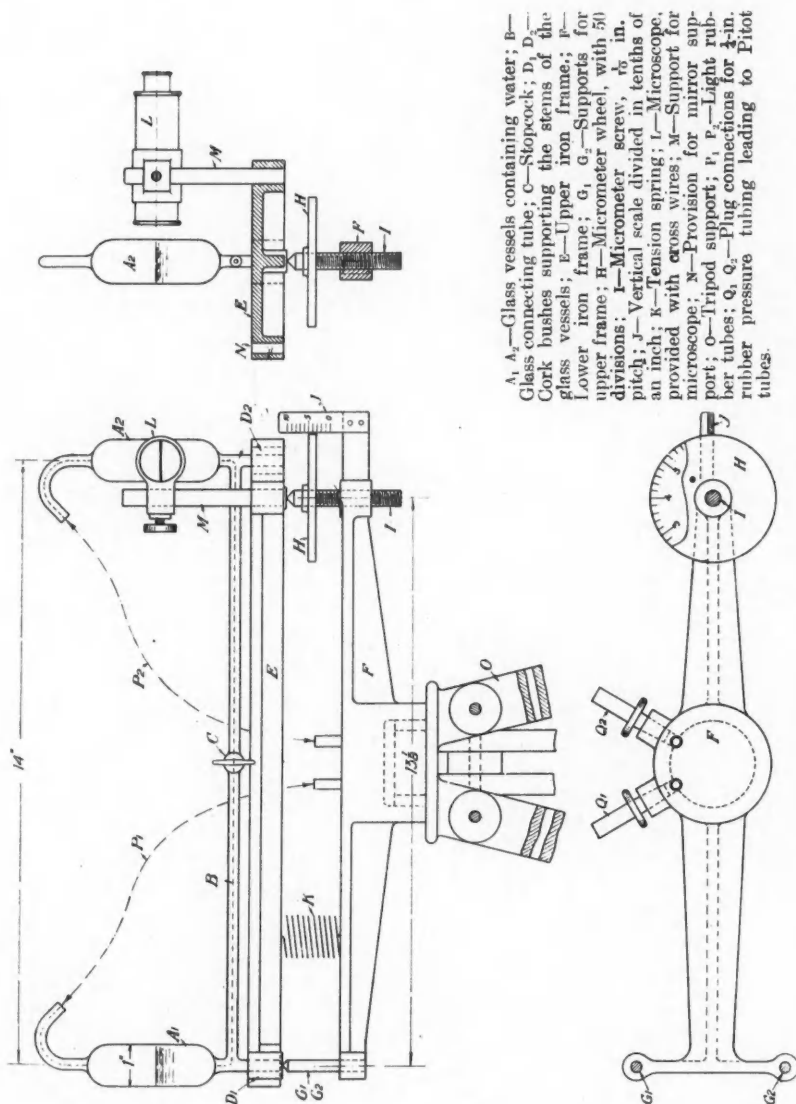


Fig. 13.—Pitot Tube: Heavy N.P.L. pattern.

Two lengths of heavy $\frac{1}{4}$ in. rubber pressure tubing about 20 ft. long are used to connect the Pitot tubes in the pipe or flue to the water gauge. The ends of the pressure tubing fit over the plug connections Q_1 and Q_2 shown in Fig. 15. By means of holes drilled in the casting F, and the light rubber tubes P_1 and P_2 , suitable communication is made to the two glass vessels A_1 and A_2 . The drag of the long lines of rubber tubing is thus taken directly by the tripod support and not by the glass vessels.



Figs. 14, 15 and 16.—Tilting Water Gauge : Three Views.

To take an observation, the tripod is set up in a convenient position with the plugs Q_1 and Q_2 removed. The level of the microscope is approximately adjusted on the support M, and the wheel H is turned until the water level in the tube A_2 appears to be exactly tangential to the horizontal cross-wire of the microscope. The micrometer reading is then noted. The water level (with suitable illumination) appears in the microscope as a sharp line, curved and inverted, as shown at L, and its position can be registered with great accuracy by the horizontal cross-wire of the microscope. This is one of the chief advantages of the apparatus. The Pitot tubes being held in the correct position in the pipe or conduit, the plugs Q_1 and Q_2 are next inserted, and, presuming the velocity tube to be connected to Q_1 , the water level in the glass vessel A_1 will fall and the water level in A_2 will rise. The glass tube A_2 is now raised by means of the wheel H, and water flows from A_2 to A_1 . Due to the position of the supports G_1 and G_2 the level of the glass vessel A_1 is not altered. The movement of the wheel is continued until the surface of the water in A_2 is again tangential to the cross-wire of the microscope. A second reading is then taken of the micrometer wheel. The position of the water in each of the glass vessels A_1 and A_2 , as regards mean level, is exactly what it was before the plugs Q_1 and Q_2 were inserted, and the actual head of water which balances the velocity under observation is measured by the movement of the wheel H which was necessary to restore the position. Since, however, the axis of the wheel H is not exactly under the centre line of the glass vessel A_2 , all the readings have to be multiplied by a suitable constant, which in this case is

$$\frac{14}{13\frac{1}{8}} \text{ see Fig. 14.}$$

To enable the water-level to be clearly seen through the microscope a mirror is generally adapted to concentrate the light where required, but for use on a cement plant in the interior of buildings where daylight is dull the writer generally finds it preferable to hang a portable electric light a few feet from the microscope and exactly in the line of sight.

A delicate form of tilting water gauge mounted on three levelling screws has been much used by the National Physical Laboratory, and the more robust pattern mounted on a tripod, as here illustrated, is based on that apparatus. It was constructed to the writer's designs for cement plant use.

(To be continued.)

Notice.

All articles published in CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE, in whatever language, are strictly copyright and may not be reprinted in other journals or in the form of catalogues without the permission of the proprietors, Concrete Publications Limited, 20, Dartmouth Street, Westminster, London, S.W.1, England.

The Behaviour of Cement, Aggregates, and Concrete at High Temperatures.*

By Dr. RICHARD GRÜN and Dr. HUGO BECKMANN (Düsseldorf).

As a result of the increase in the dimensions of modern buildings, especially as regards height, the importance of fire resistance of concrete cannot be overestimated. With greater height of building the compression strain on the carrying structure increases considerably, and in the case of very tall buildings the structure must be able to stand the loads upon it for some hours should a fire occur. If the structure of a high building should give way, for instance, during a fire in one of the lower floors, the consequence would be disastrous. In practice concrete structures show very much better resistance to fire than equivalent steel structures. Also, houses erected for experimental purposes and exposed to great heat have stood such tests surprisingly well.

The suitability of various kinds of aggregate as regards expansion and contraction has been frequently examined in laboratories, as also has the question of expansion and contraction of set cement. Very few systematic examinations of the variation of compression strength of concrete when exposed to fire have, however, been made. For this reason various samples of concrete and mortar were prepared, made of a large number of different cements and different kinds of aggregate, and exposed to progressively rising temperatures. After exposure to heat the compression strength of the concrete was tested both after allowing the concrete gradually to cool and after cooling it suddenly. The available results as well as the results of new investigations at the Forschungsinstitut (Institute of Research) were reported on as follows:—

Corresponding to the composition of the concrete, the behaviour of cement by itself, the aggregate by itself, and finally the concrete was examined.

The report deals with:

- (1) CHEMICAL REACTION: (a) Elimination of water in relation to the temperature and in relation to the time of exposure to heat. (b) Elimination of carbonic anhydride (CO_2) if any, and
- (2) PHYSICAL REACTION: (a) Change of volume (expansion, contraction), and (b) change of strength.

Cement.

The quantity of water that can be eliminated (pure cement can absorb to 25 or 28 per cent. of water) depends on the temperature obtained during the period of heating as well as the duration of this period. Exhaustive experiments on this subject have been made by Endell, who examined the ignition losses of hardened Portland cements with different temperatures, as well as linear expansion of cements.

Fig. 1 illustrates ignition losses dependent on the temperatures reached, and shows that all the water as well as carbon dioxide have been driven off at a temperature of 1,000 deg. C. It is remarkable that the exodus of water with cements hardened under water (W_1, W_2, W_3, W_4) increases rapidly up to

* Paper read on November 19, 1929, at a meeting at Düsseldorf of the Committee for the Utilisation of Blast-Furnace Slag of the Verein Deutscher Eisenhüttenleute.

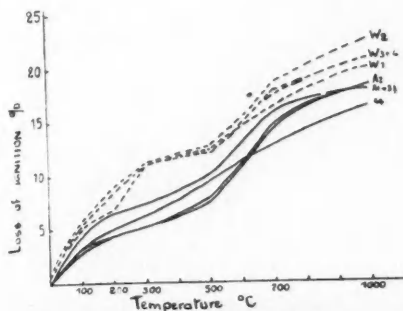


Fig. 1.—Loss of ignition of hardened Portland cement after being heated to different temperatures for one hour, by Endell.

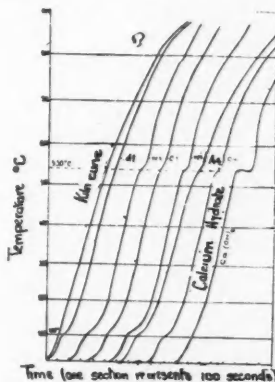


Fig. 2.—Heating curves of hardened Portland cements and calcium hydrate, by Endell.

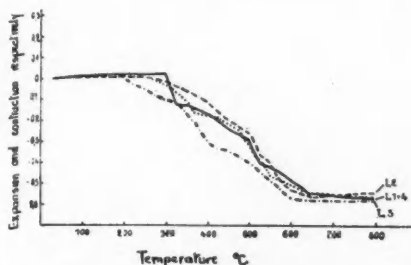


Fig. 3.—Linear expansion of four different cements hardened in air when heated to 800° C, in % of original length, by Endell.

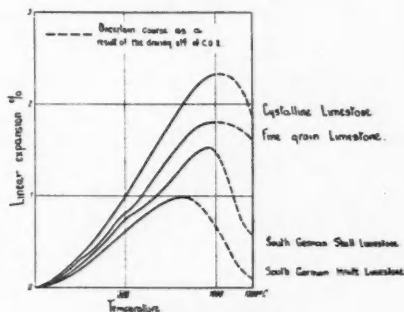


Fig. 4.—Expansion of limestone, by Endell.

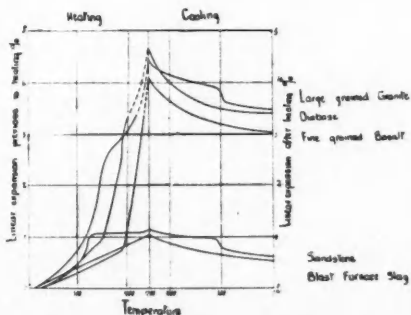


Fig. 5.—Expansion during heating and contraction during cooling for five aggregates, by Endell.

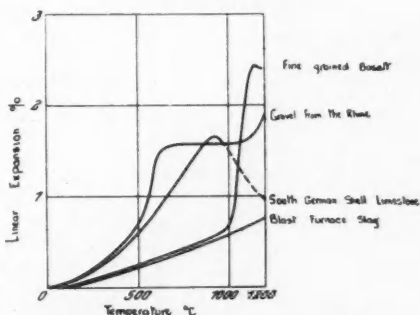


Fig. 6.—Expansion of cement mortars with various aggregates, by Endell.

300 deg. C., and that from 300 deg. C. up to 500 deg. C. there is practically no change. This observation, which was not mentioned by Endell, seems to prove that part of the water is driven off by heating up to 300 deg. C., and that there is no further result up to 500 deg. C.

The rise in temperature with equal heating for various hardened Portland cements is shown in Fig. 2. At a temperature of 530 deg. C. definite stages can be seen, which seem to indicate that at this point water is being driven off at a particularly rapid rate and that consequently a considerable change of texture occurs.

It is not so far known how far CO_2 is liberated with the water. The available information only indicates breaks and ignition losses. Figures are, however, available for the physical reaction of set-cement.

Fig. 3 shows the curves obtained by Endell, which illustrate the slight expansion that takes place with temperatures up to about 200-300 deg. C. and which then changes to rapid contraction. Evidently water is driven off to such an extent that the expansion by heat is not only fully compensated, but changed to contraction.

The changes in the compression strength of pure Portland cement have not yet been investigated, but are shortly to come into the range of experiments.

Aggregate.

As pure cement stands up rather well to heat it seemed logical to conclude that damage to buildings exposed to fire was not caused by insufficient resistance of the cement but by the aggregate. In experiments made at Gross-Lichterfelde it was found, for instance, that in houses built with the same cement throughout, all walls where gravel, basalt, etc., were used as aggregate stood up very well. Only the walls in which granite had been used showed expansion and cracks of an explosive character. For this reason it is especially necessary to examine thoroughly all aggregates. A large number of reports on tests are available from German and American sources.

The driving off of water in the case of mica, for instance, is of considerable importance. There are, however, no records of investigations.

Calcination seems to be of importance as regards chemical reaction. Experiments of Endell show very marked contraction (Fig. 4). With the exception of calcium carbonate or limestone, physical reaction seems to be more important than chemical reaction with aggregate.

Endell has also investigated the conditions as regards expansion of various aggregates before use for concrete. Granite, diabase, basalt, sandstone and blast-furnace slag were examined. Fig. 5 shows blast-furnace slag to have very little expansion, and sandstone also seems quite satisfactory. Basalt, diabase and granite, however, show expansion about four times as high as blast-furnace slag.

In this connection it may be sufficient to refer to the figures given later with relation to concrete.

Concrete.

The chemical reactions of concrete will be defined by the corresponding reactions of the aggregate and set cement as already dealt with. New phenomena need not be expected, and therefore nothing need be said about chemical reactions here.

The physical reactions of concrete cannot be ascertained so easily from the corresponding reactions of the parts separately examined. Concrete is a

product with very different physical properties than either aggregate or cement. Cement when heated by itself has a different content of CO_2 and water than when mixed in the form of concrete. Aggregate which naturally influences strength, expansion and contraction, is contained in concrete in pieces of various sizes. For the investigation of the reactions of aggregate one piece at a time was examined only.

Up to a certain point the change in volume of concrete based on results obtained for the components can be determined. It appears that all aggregates expand, while a slight contraction occurs for cement. Correspondingly concrete will show expansion, although not so marked as with aggregate because the contraction of cement still occurs. Endell has proved this in his investigations. He shows aggregate containing quartz having rapidly increasing expansion at a temperature of about 575 deg. C. as a result of quartz conversion ($\alpha \rightarrow \beta$). Copper-slag from Mansfeld, basalt and diabase cause

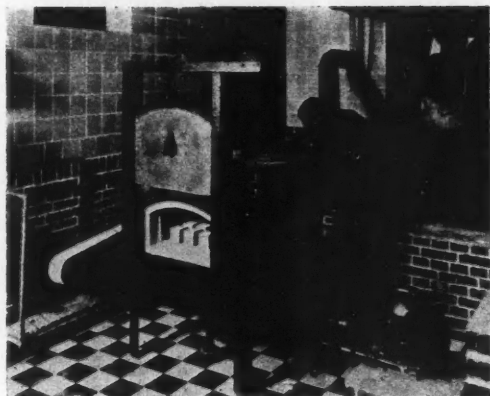


Fig. 7.—Gas Furnace for the examination of Concrete at High Temperatures

expansion of concrete at about 1,000 deg. C. as a result of the escape of gases from the aggregate. Calcareous aggregate, however, causes shrinkage at about 900 deg. C. as a result of calcination. Blast-furnace slag is an exception, giving slight but steady expansion to the concrete. Fig. 6 shows typical curves for quartzite, volcanic and calcareous stone as well as blast-furnace slag.

The most important consideration when a building is subjected to fire is the resultant variation in strength. Many experiments have been carried out to ascertain how far the strength of concrete is influenced by various temperatures. Sutcliffe heated blocks of cement and concrete and found that the tensile strength decreased from 44 to 80 per cent. according to the method by which the blocks were prepared. Nitzsche has found even greater decrease of tensile strength. Blocks heated to 300 deg. C. for 120 hours retained only one-quarter to one-third of the original tensile strength.

Investigations on compression strength made by Woolson indicated a decrease to 88 per cent. with concrete with volcanic aggregate and a decrease to 58

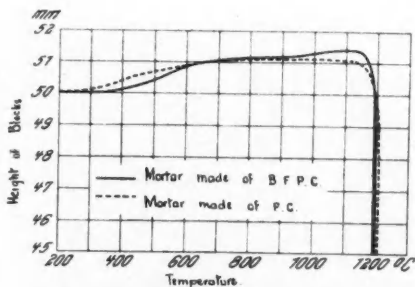
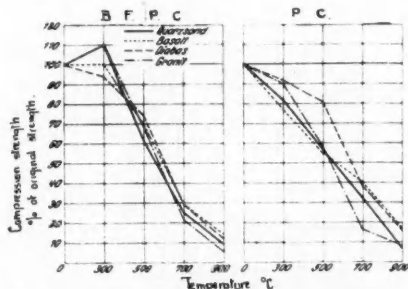


Fig. 8.—Showing effect of high temperature on blocks of mortar 1:3 with quartz sand. B.F.P.C.=Blast Furnace Portland Cement. P.C.=Portland Cement.



Blocks were put into the heated furnace and cooled in the open atmosphere at ordinary temperatures (original compression strength taken as 100).

Fig. 9.—Compression strength of B.F.P.C. mortars and P.C. mortars with different aggregates (1:3) in relation to temperatures. B.F.P.C.=Blast Furnace Portland Cement. P.C.=Portland Cement.

per cent. with calcareous aggregate when heated to 500 deg. C. Experiments made by Steppes contradict this; Steppes found an increase of 15 per cent. when heating to 500 deg. C. with basalt aggregate. Contradictions may also be found in other literature. In connection with fire-tests made on two-story buildings, Gary found that concrete, whether affected by the fire or not, when made with basalt and granite, showed negligible reductions of com-

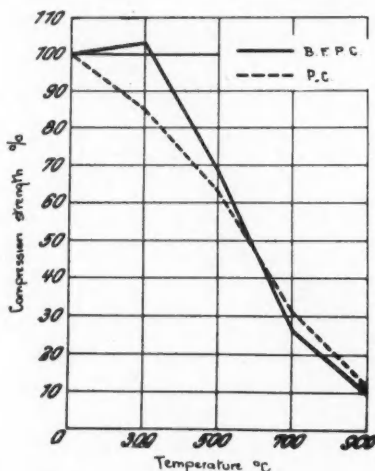


Fig. 10.—Influence of kind of cement on the compression strength of mortars heated to high temperatures. Mean compressive strength of mortars 1:3 with different aggregates. Original Compression strength taken as 100. B.F.P.C.=Blast Furnace Portland Cement. P.C.=Portland Cement.

pressive strength, while concrete made with gravel lost one-quarter of its original strength. At fire tests at the Gesolei in 1927 it was proved that compression strength decreased on an average by about 30 per cent. up to a depth of 4-5 inches, while the inside of concrete columns showed no reduction at all.

With results as contradictory as these it seemed desirable to test different cements and aggregates, using standard blocks and a specially-designed apparatus. This was all the more essential because tests made in America gave different results on the resistibility of aggregate from the German experiments. The experiments were to include quartz aggregate and limestone and blast-furnace slag; the latter seemed most essential, as the experiments on slag made by Endell showed a very slight and steady expansion only. The experiments were made with standard blocks, made up of the various aggregates with a maximum size of 5 mm. grouped according to the Fuller curve and the voids-volume curve and mixed in different ratios. The blocks were made as prescribed by the German Standard Specifications, and stored for seven days in a humid atmosphere and then heated. This was done in a gas furnace (Fig. 7) equipped with a blowing fan. The blocks were either taken out of the furnace when hot, or left to cool in the furnace. Chilling in water was also tried.

The tests for strength at high temperatures were made with blocks of Portland cement and gravel in the proportion of 1 to 3. The experiments were made in the Forschungsinstitut der Vereinigten Stahlwerke (Research Department of the United Steel Companies), and thanks are due to Professor Schulz and Dr. Hartmann for their assistance. The results are given in Fig. 8. The curves show that blocks made of Portland cement and blast-furnace Portland cement resist the specified load of 2 kg. per sq. cm. up to about 1,150 deg. C., and collapse only at this comparatively high temperature.

In order to investigate the influence of blast-furnace slag on cement, a puzzolanic cement was compared with a Portland cement. The puzzolanic cement was a blast-furnace Portland cement (B.F.P.C.) as described in Table 1; the Portland cement (P.C.) is given in Table 2; Table 3 gives tensile and compression strength of the cements used. Quartz sand, basalt, diabase and granite were used as aggregate. Fig. 9 shows in most cases an increase of the strength at the beginning for concrete made of blast-furnace Portland cement, while Portland cement at 300 deg. C. in every case shows a reduction to 80-90 per cent. of the original strength. At higher temperatures granite gives the most unfavourable results in both cases. These results generally agree with those made at the Materialprüfungsamt (Institute for the Testing of Materials).

If one eliminates the influence of aggregate by adding up the figures obtained for various temperatures and taking the mean result, a curve as given in Fig. 10 is obtained. This definitely shows the increase in strength of blast-furnace Portland cement. This observation can obviously be explained by the hydraulic activity of blast-furnace slag as regards hardening, thereby causing an increase in strength.

The blocks made of blast-furnace Portland cement are shown in Fig. 11. The poor results of quartz-sand and granite can be seen. The reason for the reduction in compression strength can be found by checking the weight per unit of volume. The gradual decrease in this weight is seen in Fig. 12. The cause is no doubt the loosening of the whole structure, which can be seen in Fig. 14. A transparent microscopical section of a quartz sand block which had been heated to 1,100 deg. is shown.

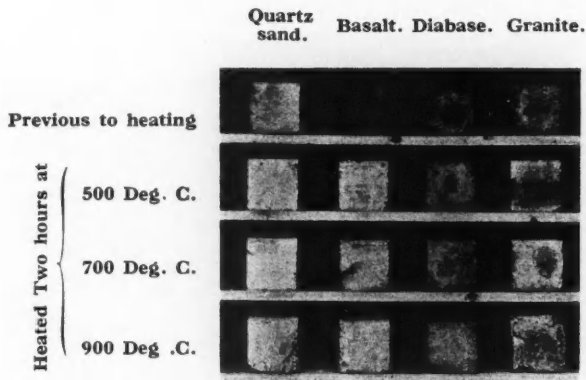


Fig. 11.—Blocks of mortars 1 : 3 made of Blast Furnace Portland Cements with different aggregates after heating for two hours at different temperatures.

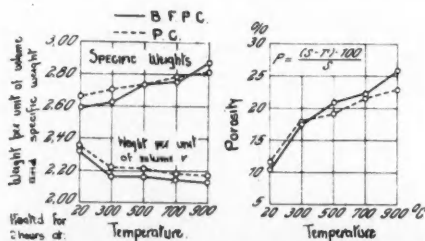


Fig. 12.—Change in weight per unit of volume and in specific weight and change in porosity of mortar made with quartz sand 1 : 3. B.F.P.C. = Blast Furnace Portland Cement. P.C. = Portland Cement.

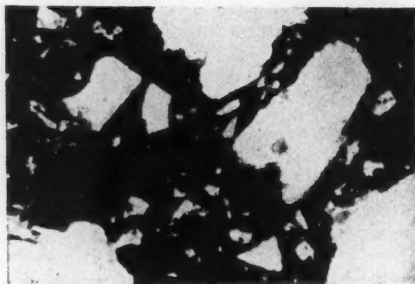


Fig. 13.—Transparent microscopic section of a mortar made with Blast Furnace Portland Cement and quartz sand previous to heating. (Enlarged fifty times, ordinary light.)

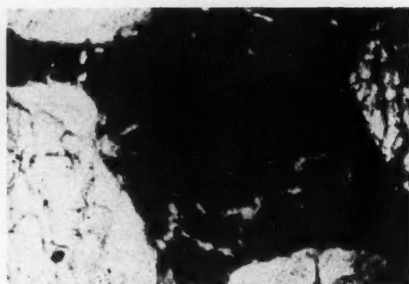


Fig. 14.—Transparent microscopic section of a mortar made with Blast Furnace Portland Cement and quartz sand after being heated for two hours to 1,000 deg. C. (Enlarged fifty times; ordinary light.)

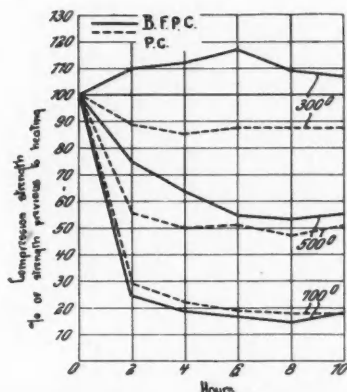


Fig. 15.—Influence of time of heating on the variation of compression strength of mortars made with Blast Furnace Portland Cement and Portland Cement 1:3 with quartz sand. Compression strength previous to heating taken as 100. B.F.P.C.=Blast Furnace Portland Cement. P.C.=Portland Cement.

In order to investigate the influence of the period of heating, blocks made with the same cement and the same aggregate were heated to 300 deg. C., 500 deg. C., and 700 deg. C. for up to ten hours. The compression strength was ascertained every two hours. The curves shown in Fig. 15 represent the results obtained. The increase of strength for blast-furnace Portland cement when heated to 300 deg. C. again can be seen; after only two hours a rise can be observed, and the curve then continues roughly horizontal. On the contrary, a decrease of strength occurs with Portland cement, although a maximum is also reached here after two hours.

At 500 deg. C. also the blocks made of blast-furnace Portland cement suffer less than Portland cement. The latter shows its maximum decrease

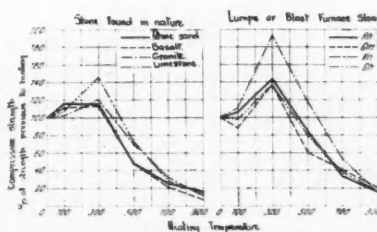


Fig. 16.—Influence of temperature on blocks made of Blast Furnace Portland Cement 1:4 with natural aggregate and lumps of Blast Furnace slag. The blocks were four days old (three days water, one day air) and were put into the cold kiln, heated two hours and cooled in the kiln.

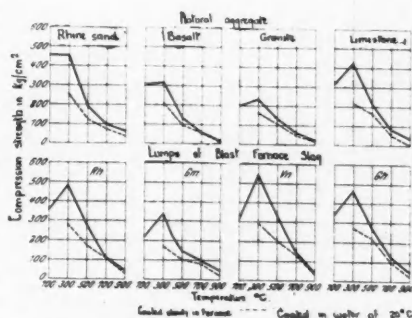


Fig. 17.—Influence of method of cooling on compression strength of mortar blocks made of Blast Furnace Portland Cement.

after four hours, while cement containing blast-furnace slag reaches its worst condition only after six hours.

When heated to 700 deg. C. a reduction in compression strength to 30 per cent. of the original strength takes place in the first two hours in the case of blast-furnace Portland cement. The lowest point reached after ten hours is 20 per cent. of the original strength. The curve for Portland cement is similar. In effect the result here proves that with intense heating deterioration is an optimum in a comparatively short time, with very little further decrease afterwards.

Blast-furnace slag was used to a greater extent in the tests to ascertain the influence of aggregates. The properties of the slags used are given in Table 4. The blocks were put into the cold furnace and heated, and then either left to cool in the furnace or chilled. The blocks were heated to 300, 500, 700 and 900 deg. C. respectively. A further set was heated to 100 deg. C. in steam. The results are given in Table 5 and Fig. 16.

With natural aggregates a slight increase in strength is observed at temperatures of 100 and also 300 deg. C., probably due to the use of blast-furnace Portland cement. When heated to 500 deg. C. the strength drops to 45-55 per cent. of the original amount. The greatest drop is experienced with quartz-sand and basalt, which show only 20-25 per cent. of their original strength at 700 deg. C. and 8-18 per cent. at 900 deg. C.

With blast-furnace slags it must be noted that those described as (Rh, Vn, Gh) were ordinary slags conforming with specifications, but slag (Gm) was particularly foamy and did not conform to specifications. Here the increase in strength at 300 deg. C. is considerably more marked than with natural aggregate, thereby proving that at such temperatures, where water has not yet left the concrete, a reaction takes place which causes hardening or solidifying. Nothing special is to be noted at 100 deg., but at 500 deg. C. a drop is observed. The decrease is, however, very slight, amounting in the case of the bad slag to about 40 per cent., while the good slags showed a decrease of about 20 per cent. only. Natural aggregates at the same point show decreases of 30-50 per cent.

At 700 deg. C. strengths of 30-50 per cent. are still maintained, while natural aggregate dropped to 20-30 per cent. At 900 deg. C. the deterioration is also not so marked as with natural material.

Some of the blocks just mentioned were taken out of the furnace while hot and put in cold water. Considerable loss of strength was observed. The results at temperatures from 300 deg. C. upwards are shown in comparison to blocks cooled slowly in Fig. 17. The figures show generally that the greatest losses occur at 300 deg. C. At higher temperatures, when the blocks have already deteriorated to a larger extent through heat, the proportionate losses are not so marked.

In order to investigate the influence of the size of the aggregate on the compression strength of concrete when heated, blocks were made not only according to the Fuller curve, but also following the voids-volume curve. Both curves are illustrated for the various aggregates in Fig. 19. The illustration shows that with the voids-volume curve the proportion of finer or smaller particles is higher. Tests were here made up to a temperature of 500 deg. C., and the results are given in Table 6 and Fig. 20. Here, too, an increase in strength can be noticed with a temperature of 300 deg. C. Blast-furnace slag again gives better results than natural aggregate. Favour-

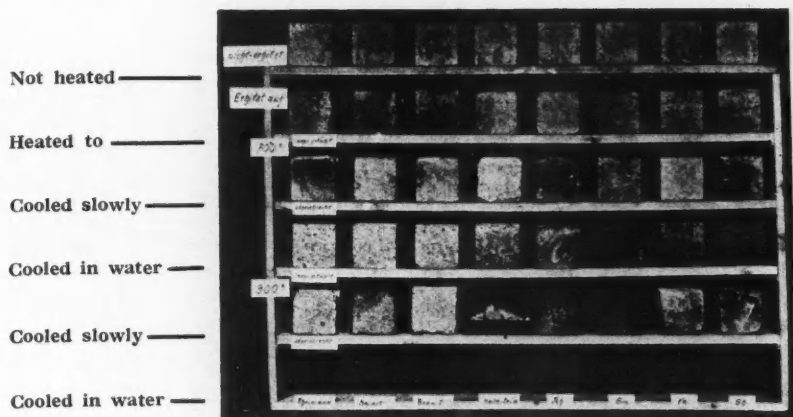


Fig. 18.—Blocks made of Blast Furnace Portland Cement 1 : 4 with natural aggregate and Blast Furnace slag after heating to high temperatures and slow cooling and chilling in water.

able results are obtained even at 500 deg. C., probably as a result of greater density of concrete.

Summary.

(1). **STANDING TESTS.**—Concrete stands up very well even at high temperatures. Collapse only occurs at about 1,150 deg. C. with a load of 2 kg. per sq. cm.

(2). **INFLUENCE OF KIND OF CEMENT.**—Cements containing puzzolana show better general results than Portland cement, and show increase in strength with temperatures up to 300 deg. C.

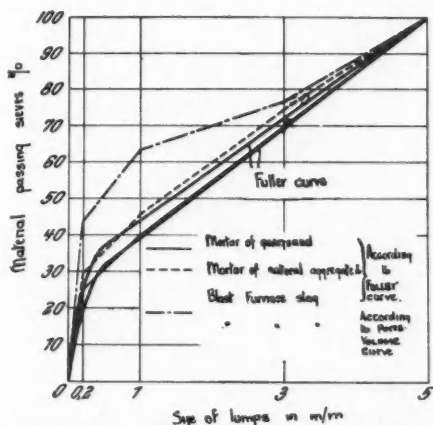


Fig. 19.—Sizes of aggregates from natural sources and Blast Furnace slag according to Fuller curve and P.-V. curve.

(3). INFLUENCE OF TIME OF HEATING.—The maximum influence is mostly reached already after two hours' heating.

(4). INFLUENCE OF THE KIND OF AGGREGATE.—Quartz aggregates, especially granite, give poor results. Limestone is better up to 700 deg. C. Blast-furnace slag is better than natural aggregate.

(5). INFLUENCE OF THE METHOD OF COOLING.—Sudden cooling in water causes marked deterioration, even at temperatures of only 300 deg. C. At 300 deg. C. concrete cooled in this way retains 30-50 per cent. and at 500 deg. C. 10-30 per cent. of its original compression strength. Strengths are of course lower in the case of 500 deg. C. than in the case of 300 deg. C.

(6). INFLUENCE OF SIZE.—An increase in the number of fine particles is of advantage.

(7). INFLUENCE OF TEMPERATURE.—This is illustrated in Table 7.

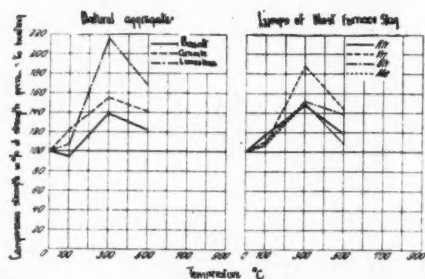


Fig. 20.—Dependence of compression strength on blocks made of Blast Furnace Portland Cements mixed according to the P.-V. curve

CONCLUSIONS.—Buildings which are to withstand the influence of high temperatures should be built with cement containing puzzolana, together with solid blast-furnace slag as aggregate. Limestone can be used with temperatures up to 500 deg. C. Quartz aggregate is to be avoided in any case.

TABLE I.—Compression strength of blocks seven days old, made of blast-furnace Portland cement 1: 3, with various aggregates, when heated to different temperatures for two hours.

	Quartz sand Kg/cm ²	Basalt Kg/cm ²	Diabase Kg/cm ²	Granite Kg/cm ²
Original strength	310	367	363	356
Heated 2 hours at 300° C.	342	366	342	389
" " 500° C.	188	252	267	242
" " 700° C.	78	107	104	75
" " 900° C.	28	51	42	18

TABLE 2.—Compression strength of blocks seven days old, made of Portland cement 1: 3, with various aggregates, when heated to different temperatures for two hours.

	Quartz sand Kg/cm ²	Basalt Kg/cm ²	Diabase Kg/cm ²	Granite Kg/cm ²
Original strength	362	386	397	474
Heated 2 hours at 300° C.	295	297	365	427
" " 500° C.	208	214	320	277
" " 700° C.	114	156	152	75
" " 900° C.	24	64	63	37

TABLE 3.—Strength of cements.

Description	Tensile strength after days.			Compression strength after days.		
	7	Kg/cm ² 28 W	28 kb	7	Kg/cm ² 28 W	28 kb
B.F.P.C. A ...	26.5	35.0	38.5	...	286	383
P.C. W ...	23.0	29.5	48.0	...	336	437
B.F.P.C. R ...	29.5	33.0	37.5	...	367	478

W=stored in water; kb=combined storage; B.F.P.C.=blast furnace Portland cement; P.C.—Portland cement.

TABLE 4.—Chemical Analysis of Blast-Furnace Slag.

Description	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	CaS	CaSO ₄
Rh ...	33.56	12.61	1.81	2.73	39.73	4.95	4.41	0.20
Gm ...	36.05	11.96	0.91	3.48	31.15	9.91	6.35	0.15
Vn ...	32.58	17.86	1.06	0.24	38.74	2.66	6.71	0.15
Gh ...	34.20	14.32	1.37	3.42	39.21	4.33	2.98	0.17
Me ...	32.82	15.62	1.80	3.67	36.65	4.64	4.65	0.15

(Tables 5 and 6 are on page 442.)

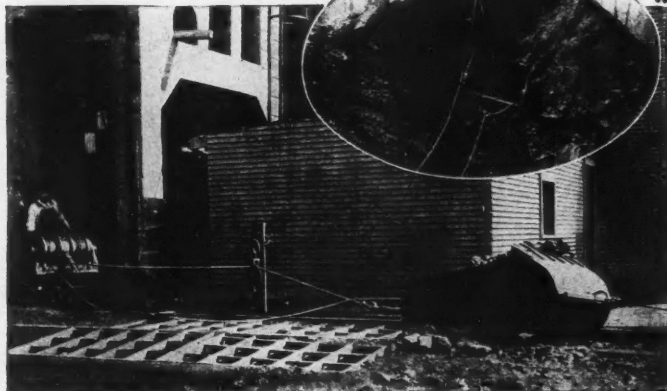
TABLE 7.—Percentage deterioration of original compression strength to be expected at various temperatures.

	Temp. °C.	Portland Cement.					Blast Furnace Portland Cement.				
		100	500	700	900	...	100	300	500	700	900
Quartz sand	-18	-42	-70	-93	...	+16	+15	-52	-75	-84
Granite	-10	-42	-84	-92	...	+2	+20	-30	-70	-90
Basalt	-23	-45	-60	-83	...	+10	+14	-52	-80	-94
Diabase	-8	-19	-62	-84	...	—	-6	-26	-71	-88
Limestone	—	—	—	—	...	+8	+16	-28	-72	-90
Blast-furnace slag	—	—	—	—	...	+10	+38	-20	-67	-80
								+92	+20	-46	-86

SULLIVAN

**Double-
Drum
SCRAPER
HAULAGES**
for
handling
all kinds
of loose
materials
**RAPIDLY
AND
CHEAPLY**

Ask for Cata-
logue 76 CM.



SULLIVAN MACHINERY COMPANY

(Incorporated in U.S.A. with limited liability)

Salisbury House, London Wall, London, E.C.2.

TABLE 5.—Compression strength in Kg/cm² of mortar made with blast-furnace Portland cement, natural aggregate, and lumps of blast-furnace slag. The grading according to the Fuller curve, mixing ratio 1:4. Heated for two hours to 100, 300, 500, 700 and 900 deg. C., cooled alternately quickly and slowly. The blocks used were four days old, having been stored for three days in water and one day in air.

		Natural aggregates.				Lumps of Blast Furnace Slag.			
		Quartz sand.	Basalt.	Granite.	Limestone.	Rh.	Gm.	Vn.	Gh.
After heating for 2 hours to	Before heating	391	275	194	292	334	245	281	339
	100°	454	306	199	314	355	216	309	333
	300° cooled slowly	452	314	233	426	482	336	543	466
	cooled quickly	256	210	165	219	279	172	297	274
	500° cooled slowly	189	132	135	212	279	146	335	272
	cooled quickly	126	96	108	166	173	102	206	221
	700° cooled slowly	97	58	60	82	111	98	149	127
	cooled quickly	73	36	48	52	107	81	133	99
	900° cooled slowly	63	18	21	36	49	48	41	49
	cooled quickly	35	13	15	0	31	22	32	24

TABLE 6.—Compression strength in Kg/cm² of blocks made with blast-furnace Portland cement, natural aggregate, and blast-furnace slag 1:4 according to the voids-volume curve, heated for two hours to 100, 300, and 500° C., and cooled slowly. Age of blocks, four days (three days stored in water, one day in air).

		Natural aggregates.			Lumps of Blast Furnace Slag.			
		Basalt.	Granite.	Limestone.	Rh.	Vn.	Gh.	Me.
Before heating	...	203	193	214	294	253	259	272
Heating for 2 hours to 100° C.	...	194	235	229	346	272	284	292
" " 300° C.	...	283	300	463	438	477	395	409
" " 500° C.	...	248	272	358	351	362	357	294

Conveying

Elevating

Distributing

FULLER - KINYON CONVEYING SYSTEM

Dry Raw Material

Blending-Box Car

Loading & Unloading

Boats and Barges

Provides for the handling of any dry pulverised materials to maintain the most efficient flow through a manufacturing process with timed automatic and remote control for blending, mixing and distributing operations from a convenient central point. An illuminated signal panel indicates the operation of the system to the operator, who can make the desired changes in the sequence of operation by push-control.

The materials being handled include gypsum, bauxite, phosphate rock, sodium bicarbonate, raw and finished cement, alumina, pigments, hydrated lime, etc. :: :: Write for complete information.

Our engineers, experienced in handling pulverised materials, are at your service for suggesting simple solutions for your conveying problems.

E. CONSTANTIN

CIVIL ENGINEER,

105, RUE LAFAYETTE - PARIS.

Telegrams: - - "Fullencoy, Paris."

Sole Licencee (except for pulverised coal) for England and France.

Patentees: The Fuller Company, Catasauqua, Penna., U.S.A.

Cement Imported into the United Kingdom.

As from March 17th, 1930, all Portland cement imported into the United Kingdom must be marked with the name of the country of its origin. The Statutory Order of the Board of Trade governing imported cement is as follows: "It shall not be lawful to sell or expose for sale in the United Kingdom (as from March 17th, 1930), any imported Portland cement unless it bears an indication of origin.

"The indication of origin shall be printed or stamped, stencilled or otherwise painted or branded on any sack, bag, cask or other container in which the Portland cement is sold or exposed for sale.

"Goods to which this part of this Order applies shall bear the indication of origin therein provided on exposure for sale wholesale only if the person so exposing the goods is not a wholesale dealer.

"Nothing in this Order shall require any goods to which this part applies to bear an indication of origin at the time of importation."

Properties of Cements as Regards Mortars and Concrete of Different Consistencies. H. RICHARZ. *Tonind. Zeit.*, Vol. 53, pp. 1619, 1636, 1658, 1929.

Tests made on a number of cements (Portland, iron-Portland, high-strength Portland, and fused) showed that no one cement was more suitable than the others for use in wet concrete or sprayed concrete. The fused cement appeared to give better results than the others, but owing to shortage of material this section of the work could not be carried to a definite conclusion.



"B.B." ELEVATORS



We supply complete Elevating and Conveying installations, also all parts and accessories.

The illustration opposite shows a typical "B.B." Continuous Bucket Elevator in work.





BAGSHAW

DUNSTABLE.

& Co., Ltd.

C.M.15.



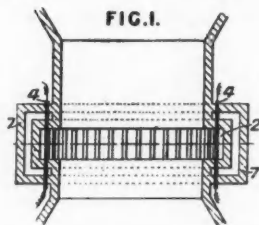
Cement Patents.

Cements. BADDER, H. C., 27, Southfield Road, Bedford Park, London. April 26, 1929, No. 19920.

Coloured hydraulic cements are made by fusing a pure base of Portland cement or of aluminous cement, or the like, together with metallic oxides, carbonates or other salts. A small proportion of fluxing material may also be added. The raw materials and colouring matter are very finely ground, for instance to pass a 200 per inch mesh sieve. The fused cement is run into moulds and subsequently ground. Examples of colouring matter are ferrous and ferric oxides, oxides of copper and cobalt, salts of iron, copper, manganese, cobalt and chromium, and earth pigments such as ochre, bole, sepia and brown umber. In some cases a proportion of finely ground metal may be added to overcome the effects of the caustic lime on the colours.

Electric kilns; cements, &c. FAWCETT, W., 36, Southampton Street, Strand, London. July 31, 1928, No. 22208.

Resistance furnaces; cements, Portland and Roman, processes and apparatus for making.—The rock materials to be fused or calcined are fed by forced draught through a zone heated solely by electric resistance elements (4) arranged around a stationary heating chamber. Suitable baffles or shields



may be fitted to protect the elements and to guide the material. The resistance elements are arranged in the side walls of a recess (2) formed by enlarging the kiln diameter. An outer wall (7) is spaced from the circumferential wall of the recess and the intervening space is filled with asbestos. The heating elements are connected in series or parallel or in sets which may be so connected. A regulating device may be provided for selectively connecting the elements.

[The foregoing are taken from "The Illustrated Official Journal" (Patents) by permission of H.M. Stationery Office. Copies of full Specifications may be obtained from the Patent Office, 25, Southampton Buildings, W.C.2, price 1s. each.]

HANDLING



PLANT

ORE HANDLING with F&C-Robins EQUIPMENT



A plant for handling a particularly hard and abrasive iron ore on the Spanish Morocco coast. The duty is hard and continuous, so that a high efficiency and exceptional robustness are demanded of the handling equipment.

A typical Fraser & Chalmers - Robins Installation.

**FRASER & CHALMERS
ENGINEERING WORKS**

PROPRIETORS THE ROYAL ELECTRIC CO. LTD.

ERITH KENT.

LONDON OFFICE: MAGNET HOUSE, KINGSWAY, W.C.2.

Associated with ROBINS CONVEYING BELT CO. of U.S.A.

C E M E N T

AND

CEMENT MANUFACTURE

LE JOURNAL INTERNATIONAL DU CIMENT EN QUATRE LANGUES.

PARTIE FRANÇAISE

PUBLIÉ PAR : CONCRETE PUBLICATIONS, LIMITED,
20, DARTMOUTH STREET, WESTMINSTER, LONDON, S.W.1, ANGLETERRE.

Publié le 20 de chaque mois.

Prix du numéro, 2 schellings.

Abonnement annuel, 24 schellings (Frs. 150), franco.

La transmission de l'énergie dans les usines de ciment.

par W. GOODYEAR.

La fabrication du ciment Portland absorbe une grande quantité d'énergie, la consommation variant entre 60 et 120 kw heure environ par tonne de produit fabriqué; toutefois cette consommation dépend en premier lieu de la nature de la matière première et du degré de pulvérisation du produit fini. On a rapporté des chiffres plus élevés, atteignant jusqu'à 160 kw heure par tonne, mais ce sont là des cas isolés.

Une grande proportion de l'énergie est absorbée par le fin broyage des matières premières et du produit fini; cependant, pour les autres unités la consommation va en croissant, et d'une manière continue, le fait étant dû à l'introduction des procédés tendant à économiser la main d'œuvre. Dans la plupart des endroits on trouve de l'énergie électrique disponible et à bon marché; ceci, joint au fait de l'introduction des moteurs électriques pour actionner les unités de fabrication tend, de plus en plus, à imposer l'électricité comme source d'énergie. Ces facteurs tendent également à éliminer les procédés de transmission purement mécaniques, en accouplant les moteurs plus ou moins directement avec les différentes machines. Toutefois, comme l'accouplement direct, sans engrenages de transmission ni réduction de vitesse ne se fait qu'avec les ventilateurs et machines similaires possédant une grande vitesse de rotation, on conçoit l'intérêt considérable que présente le sujet de cet article.

Au temps où les usines de fabrication étaient encore petites, que la production ne dépassait guère 1000 t par semaine dans chacune d'elles, toutes les unités absorbant de l'énergie étaient groupées autour de deux ou trois unités génératrices d'énergie, ce qui donnait à l'usine une forme condensée tout en assurant une transmission hautement efficace. Avec l'avènement de l'électricité comme source d'énergie, la transmission devenait plus simple, l'usine pouvait être facilement décongestionnée, tout en permettant de réaliser des groupements ou des dispositions mieux adaptés aux besoins de l'usine. Avec les moyens électriques, la transmission pouvait être plus facilement répartie et en même temps les usines étaient susceptibles d'agrandissement.

Avec des machines de faible vitesse rotatoire du type horizontal, on obtenait un rendement mécanique maximum de 90 à 92%, la transmission principale étant effectuée généralement par cordes entre le volant et une poulie calée sur l'arbre du moulin broyeur. Avec les machines à vitesse rotatoire élevée du type vertical fonctionnant sous lubrification forcée, on obtenait un rendement maximum de 92 à 93%, mais la transmission de l'énergie de l'arbre à grande vitesse à l'arbre du moulin broyeur tournant à faible vitesse ne s'est pas révélée, en l'occurrence, d'une grande facilité.

La méthode ordinaire de transmission de l'énergie dans n'importe quelle industrie se fait par corde, courroie, chaîne, engrenage ou par l'électricité. Sauf quelques rares exceptions, une transmission par corde, courroie, chaîne ou engrenage est exigée pour chaque unité. Toutefois, la transmission électrique directe est quelquefois possible sous certaines conditions et dans des cas spéciaux.

Les cordes et courroies sont employées généralement là où l'on a affaire à de grandes vitesses de rotation. Elles constituent un élément de transmission élastique mais ne peuvent être employées d'une manière satisfaisante que dans les machines à couple moteur constant. Quand ce couple n'est pas constant, il faut adapter à la machine un volant ou quelque autre organe réalisant le même effet. Une corde ou une courroie ne pourraient convenir dans le cas où la charge de la machine aurait à subir des variations brusques sans qu'il existe de volant ou d'autre organe équivalent.

Cordes de transmission.—Les cordes transmettant l'énergie doivent être en coton. Elles peuvent occasionnellement être en chanvre et manille, mais celles-ci durent beaucoup moins longtemps et exercent un frottement plus considérable que les cordes de coton. Ces dernières se font soit en trois, soit en quatre torons, avec un toron de tension ou sans ce dernier, quoique ces deux variétés trouvent chacune des partisans convaincus, il n'est pas invraisemblable que l'une quelconque d'entre elles, employée pour un même travail et sous les mêmes conditions ne puisse durer aussi longtemps que l'autre tout en réalisant une économie égale.

En vue de garantir des conditions de travail raisonnables, un rapport minimum doit exister entre le diamètre de la poulie et celui de la corde qui communique le mouvement. La plupart des fabricants ont attribué à ce rapport une valeur type égale à 30, valeur jugée convenable. L'expérience montre, cependant que ce rapport peut être réduit de quelques unités dans le cas des cordes de petit diamètre, et qu'il peut être augmenté avantageusement dans le cas des cordes de grand diamètre. Ce qui veut dire qu'une corde de 10 mm de diamètre peut fonctionner aussi bien sur une poulie de 33 cm ou de 35 cm de diamètre au lieu d'une poulie de 40 cm de diamètre; mais qu'une corde de 5 cm de diamètre assurera un travail meilleur sur une poulie de 165 cm ou 177 cm de diamètre que sur une de 152 cm valeur type.

La vitesse la plus usuelle, et probablement la plus économique, qu'on doive donner à la corde est de 1400 m à 1500 m par minute. Si les deux poulies sont grandes, cette vitesse peut être augmentée en toute sécurité jusqu'à 1800 m et même 2 000 m par minute. Toutefois les cordes doivent satisfaire aux conditions exigées pour de telles vitesses. Quand des cordes fonctionnant à grande vitesse sont adaptées à des poulies de petit diamètre, l'action centrifuge de la corde qui s'engage sur la poulie plus petite réduit l'arc de contact, de sorte qu'un effet de glissement se produit, provoquant l'usure prématurée de la corde; la transmission de l'énergie demandée pourrait même devenir impossible si l'on ne donnait aux cordes une forte tension. On doit disposer autant que possible en bas le brin conducteur tendu de la corde, de

sorte que s'il se produit un relâchement, l'arc de contact se trouve augmenté. Si on dispose le brin conduit, qui est lâche, en bas, l'arc de contact deviendrait plus petit.

Dans les poulies, la forme des gorges ainsi que la diamètre effectif des différentes gorges constituent des facteurs importants influant sur la durée de fonctionnement d'une corde de transmission. Si la forme des gorges est exactement la même partout, la corde finira graduellement par se modeler sur cette forme. Si la forme des gorges d'une poulie diffère de celle des gorges de l'autre poulie, les cordes ont à se remodeler toutes les fois qu'elles s'engagent sur chaque poulie. On ne saurait accorder une trop grosse importance à la taille des gorges dans les poulies à cordes.

Le pouvoir de transmission des cordes pour une vitesse de 1460 m par minute est donné dans le tableau I. Pour des vitesses inférieures, le pouvoir de transmission sera diminué dans le même rapport. Pour des vitesses légèrement plus élevées, le pouvoir de transmission de la corde diminue probablement faiblement accélérée. Il diminuerait rapidement pour des vitesses de 1800 m à 2000 m par minute. Cette diminution est régie principalement par le diamètre de la plus petite des poulies.

TABLEAUX I.

Pouvoir de transmission de l'énergie des cordes de coton ayant une vitesse de 1460 m par minute.

Diamètre de la corde (en cms) ...	1,25	2,0	2,50	3,10	3,75	4,50	5,0	5,75	6,50
Energie en C.V. par corde ...	4	8,8	15,5	24	35	47	62	80	95

La méthode de transmission par corde convient parfaitement, et se montre d'une grande efficacité dans la transmission entre deux arbres tournant à faible vitesse, au moyen de roues de grands diamètres. Comme cette méthode ne pourrait se réaliser avec des cordes en croix, les deux arbres tourneront dans le même sens.

La distance des centres des deux arbres dépend généralement des conditions d'installation. Dans le cas d'une courte distance, les conditions atmosphériques pourraient détériorer la corde et une atmosphère humide provoquerait sa contraction, ce qui endommagerait constamment la corde. Si, d'un autre côté la distance est trop longue, une détérioration pourrait avoir lieu, causée par un relâchement excessif; de plus, les cordes ont une tendance à se tordre et l'emploi de peignes s'imposerait alors. Une bonne dimension pratique pour l'espacement des centres des arbres s'obtiendrait en multipliant par 2,5 la somme des diamètres des deux poulies.

Il n'y a aucune limite pratique à imposer à la quantité d'énergie pouvant être transmise par un groupe de cordes. Il est facile de transmettre d'une manière efficace de grandes quantités d'énergie par cette méthode. Le roulement se fait sans grand frottement, le rapport des vitesses est pratiquement constant, et la détérioration par l'usage est très faible. Un examen des données pratiques montre qu'il est possible de transmettre, par unité de largeur de poulie des quantités d'énergie plus considérables avec des cordes de grand diamètre qu'avec des cordes de petit diamètre. Avec des poulies principales de 2 m 50 de largeur et une vitesse de corde de 1460 m par minute, il serait possible, sous certaines conditions de transmettre 2000 C.V. en employant des cordes de 5 cm de diamètre, mais il serait possible de transmettre, avec la même marge et sous les mêmes conditions 1000 C.V. seulement en employant des cordes de 2 cm 5 de diamètre.

La limitation de la vitesse de corde, et la fixation 30 à 1 du rapport $\frac{\text{diamètre de poulie}}{\text{diamètre de corde}}$ déterminent automatiquement la vitesse maximum à laquelle peut tourner un arbre actionné par une corde de transmission. Avec des cordes de 2 cm 5 et de 5 cm de diamètre, les vitesses les plus élevées seront de 305 et de 155 tours par minute respectivement. Ce principe, étendu à toutes les grosseurs usuelles de cordes donne les résultats inscrits dans le tableau No. 2.

TABLEAU II.

Diamètre de corde (en cms) ...	1,25	2,0	2,50	3,0	3,75	4,50	5,0	5,75	6,50
Vitesse max. de l'arbre (en tours par min)	610	420	305	245	205	178	155	135	120

Courroies de transmission.—Disons tout de suite en passant à l'étude de la transmission par courroies que ce mode de transmission occupe une place secondaire à côté de la transmission par cordes. Il est vrai que les transmissions principales sont quelquefois effectuées au moyen de courroies, mais ce mode de transmission n'a pas été adopté sur une grande échelle. Les courroies et les bandes sont employées utilement pour des transmissions simples ou secondaires; on peut réaliser à bon marché une transmission par courroie là où l'on a affaire à une petite quantité d'énergie à transmettre. La plupart des règles relatives à l'emploi des cordes de transmission peuvent s'appliquer aussi avantageusement aux courroies.

En ce qui concerne la vitesse, nous disons qu'une vitesse de 1200 m à 1400 m par minute est très économique et convient parfaitement pour les transmissions principales, pourvu qu'on ait affaire à des poulies de grand diamètre et à des courroies de faible force centrifuge. Dans le cas des transmissions secondaires, on peut maintenir avantageusement la vitesse autour de 600 ou 750 m par minute; on peut encore l'abaisser davantage pour des transmissions de moindre importance. Dans les cas où le changement de vitesse se fait à la main la vitesse doit être maintenue à un très bas degré.

En ce qui concerne l'épaisseur des courroies, le rapport entre cette épaisseur et le diamètre de la poulie à laquelle la courroie est adaptée est un facteur aussi important qu'il l'a été pour les cordes de transmission. Dans le cas des poulies et des cordes, nous avions donné à ce rapport la valeur 30 à 1. Ici, il serait plus avantageux de prendre le chiffre 40 ou même 48 pour le rapport entre le diamètre de la poulie et l'épaisseur de la courroie.

Quand en entreprend la confection d'une courroie de transmission on doit considérer les facteurs qui y interviennent dans l'ordre de succession suivant: (1) Energie à transmettre; (2) vitesse maximum convenable, ou économique; (3) surface de la section droite de la courroie; (4) largeur de la courroie par rapport à l'épaisseur; à son tour l'épaisseur doit être considérée dans son rapport avec le diamètre de la poulie. Il faut voir également si la courroie est adaptée pour un mouvement direct ou un mouvement croisé.

La grosseur de la plus petite poulie raccordée par une courroie de transmission influe pour une part importante dans la valeur de l'énergie qu'elle peut transmettre. Le diamètre de la poulie doit être assez petit et la vitesse de la courroie assez élevée pour que la courroie soit capable de toucher à peine la poulie en s'enroulant autour d'elle. La courbe, fig. 1 (page 404) a été dessinée pour indiquer l'importance du diamètre de la poulie par rapport à la transmission de l'énergie. On peut compter sur la valeur documentaire de cette courbe étant donné qu'elle a été contrôlée par des mesures relevées sur plusieurs courroies.

Le rendement d'une transmission par corde pourrait atteindre 98%, pourvu que toutes les conditions—vitesse de la corde par rapport au diamètre de la plus petite poulie, distance des centres de rotation; tension de la corde, forme des gorges; force de la corde, etc.—soient favorables. La quantité dont le rendement pourrait tomber au-dessous de 98% dépendra de l'influence exercée par chacun de ces facteurs.

Le rendement d'une courroie de transmission dépend: (1) de l'épaisseur de la courroie par rapport au diamètre de la plus petite poulie; (2) de la vitesse de la courroie par rapport au diamètre de la plus petite poulie; (3) de l'arc de contact entre la courroie et la plus petite poulie; (4) de la traction totale sur les deux brins de la courroie; et (5) de la nature de la surface de contact. Il est possible que le rendement puisse atteindre une valeur maximum de 98%, on ne saurait toutefois indiquer un chiffre pour le rendement minimum. L'atmosphère poussiéreuse d'une usine de ciment fait qu'il est souvent difficile de maintenir la surface de la courroie en bon état.

Dans cet ordre d'idées nous mentionnons la courroie de transmission Lennix. Un diagramme montrant la disposition de cette courroie est représenté, fig. 2 (page 405). Dans la courroie Lennix l'arc de contact normal entre la courroie et la plus petite poulie est augmenté par l'adaptation d'une poulie intermédiaire sur laquelle s'applique le brin conduit de la courroie à l'endroit où celle-ci atteint ou quitte la poulie conductrice ou la poulie conduite, suivant que l'une ou l'autre se trouve être la plus petite. La pression effective exercée par cette poulie intermédiaire peut être réglée de telle façon que la pression de la courroie sur la poulie conductrice ainsi que la tension de transmission puissent se conformer automatiquement à toute variation de la traction ou de l'énergie transmise. Ce caractère d'automatisme, adjoint au fait que tous les autres facteurs avaient été choisis de façon appropriée doit donner un rendement supérieur. Toutefois, nous n'avons pas sous les yeux pour la moment des chiffres précis. Le dispositif Lennix rend possible, et d'une manière satisfaisante, l'emploi de courroies raccordant des poulies dont les centres se trouvent très rapprochés et qui possèdent une différence énorme entre leurs diamètres. Une réduction de la vitesse dans le rapport 8 à 1 et même 10 à 1 est pratiquement possible entre des poulies de centres très rapprochées au moyen de la transmission Lennix, ce qui donne à ce mode particulier de transmission une valeur considérable à plusieurs points de vue.

L'effort de traction exercé sur les coussinets et résultant d'une transmission par courroie est presque le même que celui exercé par une corde de transmission, et peut même être plus grand que ce dernier. On doit donner aux coussinets des proportions et une fabrication en conséquence. En plus de la traction simple exigée pour la transmission de l'énergie, une pression additionnelle est indispensable dans les courroies pour empêcher tout glissement.

Chaînes de transmission.—On emploie de plus en plus dans la pratique récente les chaînes comme moyen de transmission. Il est à peine besoin de dire que les facteurs principaux à considérer dans la transmission par chaînes sont à l'opposé de ceux envisagés dans la transmission par cordes et par courroies. Pour les derniers, nous avons affaire à des cordes ou des courroies relativement légères, transmettant de petites forces, avec une vitesse très élevée. Dans la transmission par chaînes, nous aurons affaire à des chaînes massives, transmettant des forces de valeur élevée avec une vitesse relativement basse. Ainsi, l'expérience acquise dans les premiers modes de transmission ne pourrait servir en rien à l'étude de la transmission par chaînes, étant donné que les principes observés diffèrent totalement du premier cas à l'autre.

Il existe deux types principaux de chaînes de transmission. Le premier est le vieux type de chaînes grossières à grand pas analogues à celles adoptées dans le convoyeur à chaînes, l'élévateur à chaînes et dans les appareils analogues. Les mailles sont en fonte (malléable); la chaîne s'engage sur des hérissons en fonte (dont les dents ont été trempées) ou en acier au manganèse. Ce type de chaîne a servi et servira probablement dans une large mesure. Toutefois, la vitesse et la force de traction doivent y être maintenues à des valeurs relativement basses. Les fabricants accordent habituellement une vitesse maximum de 300 m à 360 m par minute pour les chaînes de cette catégorie, mais les chaînes doivent être dans de bonnes conditions pour supporter ces vitesses. L'effort de traction effectif doit être autant que possible constamment uniforme; de plus il ne doit pas y avoir de chocs brusques ni de danger d'obstruction, car dans de tels cas la chaîne peut probablement se rompre. Ce type de chaîne convient parfaitement pour beaucoup d'usages, mais nous ne pouvons le considérer comme un organe capable de transmettre de grosses quantités d'énergie.

Le second type de chaînes est mieux conçu à tous les points de vue; la structure en est complètement différente; le pas y est beaucoup plus petit et uniforme; sa fabrication a été réalisée avec une précision remarquable, ce qui fait que ce type constitue un outil de grande classe. Les dents des roues sur lesquelles s'engage la chaîne sont également taillées à la machine dans les meilleures conditions de précision. Ces chaînes conviennent à la transmission de grandes quantités d'énergie avec des vitesses de rotation relativement élevées. On peut donner à cette vitesse des valeurs de 600 m par minute et au-dessus, pourvu que l'on se mette dans de bonnes conditions, appropriées à ces vitesses.

Ce type de chaînes trouve de nombreux usages dans l'industrie de la machine-outil et les industries de travail du bois. Dans certaines conditions, on en enferme plusieurs groupes dans une même boîte d'engrenage, réalisant ainsi des transmissions à vitesse variable. En ce qui concerne l'industrie du ciment, les chaînes de ce type peuvent être utilisées comme un organe de changement de vitesse, transmettant l'énergie, soit d'un arbre à faible vitesse à un arbre à vitesse élevée, soit réciproquement. Cette transmission peut se faire avec n'importe quel couple d'arbres dont les centres se trouvent très rapprochés; ces centres peuvent même être tellement rapprochés que les sommets des dents arrivent presque à se toucher. Les supports des arbres doivent être très rigides, les coussinets rapprochés des roues. La chaîne et la roue dentée doivent être, dans la mesure du possible, enfermées dans une boîte complètement fermée avec adaptation d'un système perfectionné de lubrification à l'huile.

Roues d'engrenage.—La transmission de l'énergie par roues dentées est d'usage constant. Elle est l'une des plus vieilles méthodes de transmission connues; les élévateurs, convoyeurs, toutes les sortes de broyeurs, sècheurs, fours, refroidisseurs, etc., sont habituellement actionnés au moyen de ce mode d'engrenage. Au début, on fabriquait les roues dentées en les coulant dans des moules complètes, ou en les modelant partiellement au moyen de la machine à mouler; les deux méthodes ont eu leurs détracteurs; on a imposé une limite supérieure à la quantité d'énergie susceptible d'être transmise et à la vitesse à laquelle les roues doivent tourner.

Quand on veut obtenir des vitesses plus élevées et un fonctionnement sans à-coups, sous certaines conditions et pour certaines opérations, on fait engrener une roue d'ordinaire en fonte, ayant ses dents en saillie, avec une roue ayant des dents en bois (comme le système tenon-mortaise). On a réussi à transmettre jusqu'à 100 C.V. avec des couples de roues adaptées de cette façon;

la vitesse du cercle de contact pouvait être maintenue à une valeur élevée, mais la pression sur les dents devait rester faible. De plus, les dents en bois devaient être fréquemment renouvelées. L'avantage de ce mode d'engrenage consistait en ce qu'il était silencieux, et que la question de la lubrification s'y montrait de faible importance.

Par la suite, on introduisit l'emploi de l'engrenage en acier fondu, coulé dans des moules ou formé à la machine. Les roues dentées faites en ce métal cassaient rarement mais souvent s'usaient rapidement à cause d'une lubrification insuffisante; ces roues faisaient aussi beaucoup de bruit. Un grand perfectionnement fut réalisé quand on introduisit l'emploi de machines à tailler les dents.

A cause de l'inexactitude existant dans le pas de la roue dentée, il ne faudra pas, en pratique, dépasser la vitesse de 500 m à 550 m par minute avec des roues en fonte formées soit au moule, soit à la machine; même à ces conditions le maintien de la pression sur les dents à une faible valeur pourrait être rendu nécessaire. Si la vitesse ou la pression sont trop élevées, le choc causé par l'inexactitude du pas provoquera la rupture de plusieurs dents; si on remplace la fonte par de l'acier fondu, il n'y aura pas de dents cassées mais le bruit sera plus fort. Le bruit ne constitue pas par lui-même un inconvénient, mais il indique qu'il y a choc, accélération ou diminution du mouvement, et par conséquent usure excessive, de sorte qu'on a intérêt à le réduire ou même à l'éliminer entièrement. On doit apporter tous les soins désirables à l'obtention d'un pas aussi rigoureux que possible.

Un progrès immense fut réalisé avec la taille des dents à la machine. Ce progrès amena la possibilité de vitesses plus élevées et de pressions sur les dents plus fortes; il en résulta un fonctionnement silencieux, de plus on put adapter avec succès une lubrification efficace. Ces progrès nécessitèrent une meilleure installation des travaux avec un entretien plus poussé. Le coût de l'installation est devenu nécessairement plus élevé mais de plus grandes quantités d'énergies deviennent transmissibles, la durée de fonctionnement est devenue plus grande et le rendement économique plus élevé.

Nous donnons ci-dessous des chiffres typiques, et encore actuels, relevés sur un type de broyeur ancien mais d'usage très courant, actionné au moyen d'engrenages en acier fondu, formés à la machine ou dans des moules. Ces chiffres, comparés à ceux obtenus avec un type relativement nouveau de broyeur, actionné au moyen d'un engrenage en acier taillé à la machine nous montrent les progrès accomplis et les possibilités qu'on peut envisager pour la construction et le fonctionnement des engrenages. Le vieux broyeur était actionné au moyen d'une roue dentée en fonte ayant 100 dents, un pas de 7 cm 24 une largeur de 25 cm 5 tournant à la vitesse de 26 tours par minute et absorbant une puissance résistante de 100 C.V. La vitesse sur le cercle des dents était de 190 m par minute et la pression sur les dents de 95 kg par cm de largeur. Le nouveau broyeur est actionné au moyen d'une roue en acier fondu possédant 139 dents, un pas de 8 cm 76 une largeur de 31 cm 3; cette roue fait 24,5 tours par minute et absorbe une puissance résistante de 750 C.V. La vitesse sur le cercle des dents approche 300 m par minute et la pression sur les dents atteint 360 kgs environ par cm de largeur. Le premier engrenage était du type ouvert et se lubrifiait à la graisse. Le second est complètement enfermé et se trouve enveloppé d'un bain d'huile. La durée de fonctionnement de ce dernier promet d'être énormément plus longue que celle du premier, malgré l'effet de destruction créé par les conditions de pression et de vitesse.

Engrenages actionnant les fours.—Nous pourrions mentionner spécialement les engrenages employés pour actionner les fours. Ils sont invariablement en acier fondu. Dans le premier couple d'engrenage la pression sur les dents est

sensiblement faible, mais elle peut atteindre dans le dernier couple des valeurs élevées de l'ordre de 700 à 900 kgs par cm de largeur; la vitesse dans le dernier couple est très faible. Ces engrenages sont d'ordinaire formés au moule ou à la machine et on en emploie habituellement trois à quatre couples. En admettant que chaque couple d'engrenages puisse posséder un rendement de 87,5%, et que le rendement de l'accouplement d'un arbre avec une roue dentée de 85%, le rendement total du train d'engrenage serait de 50% (le rendement augmente quand les engrenages acquièrent une bonne surface et lorsqu'une faible usure s'est seulement déclarée). Si on avait installé dès le début des engrenages taillés à la machine, on aurait eu des chiffres qui, comparés avec les premiers, auraient donné 97%, 94,5% et 79% respectivement.

La transmission de l'énergie par l'électricité.—L'usage de l'énergie électrique comme moyen de transmission se généralise de plus en plus, et la pratique concernant la distribution de l'électricité entre actuellement dans une phase totalement différente. A l'origine, on groupait les unités de fabrication autour de l'unité productrice d'énergie, cette disposition constituant souvent une entrave à la bonne marche de la fabrication. La faculté d'actionner les unités de fabrication par l'électricité permet de donner à ces dernières une disposition appropriée au travail de chacune d'elles.

Avec l'achat en gros de l'énergie électrique, le courant alternatif étant le plus fréquemment employé, le choix des types de moteurs doit recevoir un soin particulier. Il est un fait que des machines à cage d'écureuil et à grand couple moteur sont devenues d'usage courant pour des puissances ne dépassant pas 20 C.V., à condition que le courant de démarrage nécessaire ne puisse pas trop surcharger la source qui fournit l'énergie. On a recours à des machines à anneau glissant pour des puissances plus élevées, ainsi que dans le cas où l'on aura besoin de pouvoir agir sur le couple de démarrage et sur la vitesse. Avec le courant continu, ce contrôle ainsi que le réglage de la vitesse sont facilement réalisables. Cependant il existe des objections s'opposant à l'emploi du courant alternatif.

Les moteurs électriques sont, en général des unités à vitesse élevée; dans la plupart des cas, il est indispensable d'interposer un système réducteur de vitesse entre le moteur et l'unité qu'il actionne. Si le rapport de la réduction est faible, de l'ordre de 6 à 1 par exemple, on peut utiliser pour cette réduction un engrenage par roue dentée. Si le rapport de réduction varie entre 10 à 1 et 30 à 1 on doit utiliser alors un engrenage par roue dentée double, ou un engrenage par vis sans fin et roue dentée. Ces unités de réduction de vitesse conviennent parfaitement et s'adaptent facilement à l'endroit où on les dispose. Les instruments qui les commandent peuvent être groupés à l'endroit voulu (loin du moteur).

On peut trouver convenable dans certaines conditions d'accoupler directement le moteur avec l'unité qu'il actionne au moyen d'un accouplement flexible. Dans ce cas on peut faire usage d'unités réalisant des vitesses élevées pour actionner les ventilateurs, souffleries, pompes centrifuges, etc. On peut également accoupler de la même manière des moteurs à faible vitesse avec les arbres des broyeurs à boulets, des broyeurs tubulaires, etc., ce qui permet de mettre en tout un seul engrenage. Il faut mentionner toutefois, qu'avec les moteurs de faible vitesse, le facteur de puissance, et par suite le rendement, est très inférieur à celui réalisé dans les machines de vitesse élevée. Si le moteur a une grande capacité et si on dispose des conditions garantissant son bon fonctionnement, on doit employer une machine du type auto-synchrone susceptible d'élever le facteur de puissance à la valeur qu'on désire.

Une autre méthode consiste dans l'emploi de moteur à engrenage intérieur (un moteur à vitesse élevée aménagé avec un engrenage réducteur de vitesse simple, double ou même triple contenu dans l'enveloppe même du moteur) accouplé à l'arbre qui doit tourner à faible vitesse et auquel on peut donner par conséquent la vitesse voulue. Ces unités trouvent de plus en plus un usage courant sur le Continent. Les parties actives de l'engrenage se font en un alliage d'acier, durci et poli. Les coussinets sont adaptés avec un roulement à billes. L'unité, au total, constitue un outil de grande classe et fonctionne avec un rendement total (électrique et mécanique) de 90 à 92%, et une réduction de vitesse permettant de passer de la valeur de 1500 tours par minute jusqu'à n'importe quel chiffre désiré, inférieur à 20 tours par minute.

Conclusion.—Ayant ainsi passé en revue ces différents modes de transmission, une question se pose naturellement: "Quel mode semble être le meilleur et lequel fournit le meilleur rendement?" Les conditions de l'emplacement, ainsi que le travail à effectuer déterminent habituellement le type de l'organe de transmission à employer, quoiqu'un choix soit quelquefois possible. On ne doit pas perdre de vue le facteur rendement; on ne doit pas, cependant attacher une trop grande importance à l'obtention de rendements élevés, car la réalisation de ces derniers n'est pas souvent économique. Nous avons déjà étudié le rendement relatif aux cordes et courroies de transmission et il semble qu'il est possible d'atteindre des chiffres élevés, jusqu'à 98%, quand le travail s'effectue à plein rendement et dans les meilleures conditions possibles.

Quand on emploie des chaînes de transmission, on doit faire une différence entre les chaînes de construction soignée et les chaînes grossières. La transmission effectuée par des chaînes de haute précision s'engageant sur des dents taillées à la machine et complètement enfermées, avec un bain lubrifiant donne un rendement du même ordre que celui donné par un seul couple de roues dentées, taillées à la machine, soit 98%. D'un autre côté, avec une chaîne dont les mailles sont en fer malléable, s'engageant sur des dents à surface rugueuse d'une roue dentée en fonte, la valeur du rendement sera très faible surtout quand c'est du matériel neuf. Ce dernier type de chaîne est plutôt un organe d'opportunité qu'un véritable organe de transmission de l'énergie. Avec les engrenages, on peut avoir un rendement très élevé ou très faible; ce rendement dépend de la forme du profil des dents, de l'uniformité du pas des dents, du poli des surfaces de contact, de la densité de pression sur les dents et de la qualité de la lubrification. Un engrenage de grande classe, complètement enfermé, avec un bain lubrifiant, réduisant la vitesse dans le rapport de 5 à 1, par exemple, et fonctionnant dans de bonnes conditions générales, donnera un rendement de 98 à 98,5%. Un engrenage double ou triple, de réduction de vitesse, complètement enfermé, et appartenant à la même classe que le précédent donnera, dans les meilleures conditions un rendement respectif de 96,5 à 97,5% et de 95 à 96%.

D'un autre côté, les engrenages à surface rugueuse, formés au moule à la machine, auront un rendement très faible, de l'ordre de 85%, et pouvant aller jusqu'à 90%; les engrenages très usés ou lourdement chargés ont un rendement du même ordre de valeur. Dans les pires conditions, ce rendement pourrait baisser jusqu'à 80% ou même 75%.

Le rendement d'un engrenage conique, du type enfermé dans une boîte peut être de l'ordre de 95% (nous n'avons pas à notre disposition des chiffres précis qui s'y rapportent), mais le rendement d'un engrenage conique analogue à celui qu'on emploie habituellement est plus faible. On doit éviter autant que possible l'emploi d'engrenages coniques.

Le rendement d'un engrenage réducteur de vitesse à vis sans fin dépend surtout du rapport des vitesses (angle de conduite). Quand ce rapport est de l'ordre de 7,5 à 1, le rendement est de 93 à 94%; quand le rapport atteint 30 à 1 le rendement tombe à 85%. Un graphique montrant l'allure de la décroissance du rendement relatif à des engrenages par vis sans fin de grande classe est représenté dans la fig. 3 (page 410). Le grand avantage de cet engrenage réside en son pouvoir de réduction considérable de la vitesse et dans son fonctionnement silencieux.

Nous devons mentionner encore l'engrenage à vitesse variable; cet engrenage est souvent utilisé pour commander à la vitesse du four, à l'alimentation en charbon, à l'alimentation en matière première, aux appareils d'extraction, aux alimentateurs des broyeurs, etc., et pour divers autres travaux. Il semble qu'il ne pourrait y avoir d'engrenage à vitesse variable de résistance mécanique et de rendement suffisants pouvant convenir à la transmission de grosses quantités d'énergie; il existe quelques types de petits appareils pouvant fonctionner sur 20 à 25 C.V., mais ils ne sont pas adaptés, en général pour être commandés à distance.

Quand on a du courant continu à sa disposition, on peut facilement obtenir toutes les vitesses comprises entre les limites déterminées par les vitesses de moteur maximum et minimum. On peut donner à l'organe employé pour réaliser cette variation de vitesse la position qu'on désire et à n'importe quelle distance du moteur. Quand on emploie du courant alternatif, il faut utiliser soit un moteur à deux vitesses, soit un moteur du type commutateur. Quelques unités de fabrication peuvent être actionnées convenablement au moyen d'une machine à deux vitesses, mais deux vitesses seulement ne pourraient en aucune façon satisfaire à toutes les conditions exigées par les opérations de fabrication. Le moteur à courant alternatif du type commutateur réalise une gamme de vitesses s'étendant sur une très longue échelle, mais, jusqu'à ce jour ce moteur coûte très cher, tellement cher que l'économie réalisée par son emploi est très faible. La variation de la vitesse est obtenue, dans cette machine par une variation de la position du balai; cette dernière opération peut se faire à distance. On emploie également ce type de machine pour l'obtention de vitesses constantes, largement différentes des vitesses obtenues avec les moteurs synchrones. Il suffit pour cela d'ajuster les balais dans la position donnant la vitesse voulue, puis de les fixer dans cette position. De toute façon il faut retenir ce principe précieux concernant les appareils à vitesse variable: Ne pas essayer d'effectuer mécaniquement ce qui peut être effectué électriquement.

Résumé.—Nous donnons ci-après un résumé de ce que nous avons dit précédemment:

Cordes.—Convienent particulièrement pour les transmissions principales, et pour transmettre de grandes quantités d'énergie d'un arbre à faible vitesse de rotation à un autre arbre du même genre. La meilleure matière à employer est le coton. Ce mode de transmission ne s'applique pas aux cordes croisées. La vitesse la plus économique à employer est de 1460 m par minute. Le rendement maximum atteint 97 à 98%.

Courroies.—Convienent particulièrement pour les transmissions secondaires, et pour transmettre de faibles ou très faibles quantités d'énergie. La vitesse optimum dépend de la nature de la courroie et du travail qu'elle a à effectuer. On peut employer les courroies pour des transmissions directes ou croisées. Le rendement maximum atteint 97 à 98%.

Chaînes.—Se divisent en deux classes: (1) Chaînes grossières de transmission; (2) chaînes de précision de grande classe. Les premières sont employées pour des transmissions de petites quantités d'énergie à faible vitesse, et faible rendement. Les dernières sont destinées à des opérations plus importantes. On peut réaliser des vitesses élevées, et transmettre de grosses quantités de l'énergie. Elles peuvent fonctionner à centres très rapprochés. Quand elles fonctionnent à plein rendement, tout en étant complètement enfermées avec un bain lubrifiant, elles donnent un rendement de 97 à 98%.

Engrenages.—Se divisent principalement en engrenages par roues dentées et engrenages coniques, engrenages grossiers et engrenages de grande classe. L'engrenage par roue dentée est universellement employé; (a) la variété formée au moule ou à la machine étant employé pour les pressions et les vitesses basses ou moyennes; (b) la variété de précision, taillée à la machine, pour les pressions et les vitesses élevées. Le rendement maximum, avec l'engrenage taillé à la machine et possédant un bain lubrifiant est de 97 à 98%.

Etant données les difficultés qu'on a à donner aux engrenages coniques une construction de précision et les difficultés qu'on rencontre dans le tracé et le maintien en alignement de cet engrenage, les vitesses, pression sur les dents et énergie transmissible relatives à cet engrenage, seront constamment inférieures aux mêmes facteurs relatifs aux roues dentées; il en est de même du rendement. On devra éviter autant que possible l'emploi d'engrenages coniques.

Transmission électrique.—Quand on peut se procurer de l'énergie électrique à bon marché, on doit adopter la transmission électrique pour actionner les unités de fabrication; on doit envisager dans un point de vue économique la question des vitesses et des effets résultant d'une réduction de vitesse quelconque dont la réalisation s'avère indispensable. Le rendement des moteurs devra être de 90 à 94 ou 95% en pleine charge. Le rendement de l'engrenage réducteur de vitesse se trouve dans les données précédemment étalées.

Transmission à vitesse variable.—La variation de la vitesse peut s'obtenir par les moyens électriques mieux qu'avec tout autre moyen. Actuellement, c'est le courant continu qui réalise les meilleures conditions économiques pour l'obtention de la variation désirée, tout en ayant l'avantage de rendre la commande à distance très aisée.

Au Sujet des Annonces.

TOUTES les demandes de renseignements concernant les annonces dans "International Cement and Cement Manufacture" doivent être adressées à Concrete Publications Limited, 20 Dartmouth Street, London, S.W.1, England.

Le texte de l'annonce doit parvenir à cet office au plus tard le 25 du mois précédant celui de la parution. Dans le cas où un nouveau texte ne serait pas parvenu à cette date, les éditeurs se réservent le droit de reproduire le texte précédent.

Dans le cas d'annonces devant être imprimées en plus d'une seule langue, on doit fournir soi-même les traductions. Si on le désire, les éditeurs se chargent de ce travail de traduction, mais il est entendu qu'ils ne pourraient assumer aucune responsabilité en ce qui concerne l'exactitude de la traduction.

Le ciment chaud.

par N. DAVEY.

STATION DE RECHERCHES SUR LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION À WATFORD (ANGLETERRE).

PAR le terme "ciment chaud" nous entendons que le ciment est chaud au toucher. Le ciment s'échauffe par la chaleur dégagée par le frottement pendant le broyage; en général, plus la mouture du ciment est fine, plus sa température sera élevée à la sortie des broyeurs. Il arrive souvent que le ciment, et plus particulièrement le ciment à prise rapide, ainsi que le ciment ensaché dans des sacs en papier, ait une température appréciable au toucher, quand il arrive à destination; il existe une incertitude au sujet de la qualité du béton qui résultera de son emploi.

Sauf les essais exécutés par le Service des Routes de l'Etat de Tennessee, à Nashville (E.U.), relatés dans les Comptes-rendus de l'Institut américain du béton de l'année 1929 (page 434), on ne dispose que de peu de renseignements sur ce sujet. Les essais américains ont montré, que si le ciment est physiquement conforme aux exigences des spécifications de la Société Américaine pour l'essai des Matériaux, la température à laquelle il arrive au chantier de construction n'avait aucune importance. On n'a jamais trouvé aucune différence appréciable au point de vue, tant de la résistance à la compression ou à la traction que des autres caractéristiques; il a cependant été noté que le temps de prise était légèrement réduit.

La station de recherches sur les matériaux de construction (Angleterre) a entrepris un certain nombre d'essais sur le ciment Portland normal, conforme aux spécifications afférentes au ciment Portland, de l'Association des Normes techniques britanniques, et les résultats relatés ici sont conformes à ceux obtenus en Amérique. Des arrangements ont été pris avec un des fabricants de ciment Portland, qui a autorisé les représentants de la station de recherches sur les matériaux de construction à visiter ses usines, et à prélever des échantillons de ciment, immédiatement après sa sortie des broyeurs. La température du ciment, relevée sur le convoyeur à courroie transportant le ciment des broyeurs au magasin à silos, était de 140°C.

Les premières épreuves pour déterminer le temps de prise, et la préparation des briquettes de mortier au sable, ont été exécutées au laboratoire d'essais de l'usine, avec du ciment ayant une demi-heure d'existence. La température était tombée de 140° à 122° C, mais cette température dépassait encore notablement celle que le ciment peut avoir, selon toute vraisemblance, quand il arrive à destination. La composition, déterminée suivant les spécifications des Normes s'appliquant au ciment refroidi à 16° C, deux jours après sa sortie du four, est donnée tableau I.

Grâce aux récipients spécialement construits et aux bouteilles isothermes, le ciment, prélevé aux broyeurs à une température de 140° C, était transporté à la station de recherches sans perte sensible de chaleur. Les mêmes épreuves que celles exécutées à l'usine ont pu être répétées à divers intervalles, pendant la période de refroidissement progressif du ciment. Une première série d'éprouvettes en béton a été préparée à la station de recherches, avec du ciment dont la température était de 120° C et ayant moins de quatre heures d'existence.

TABLEAU I.
ANALYSE CHIMIQUE.

SiO ²	...	...	...	...	...	22,18
Al ² O ³	...	...	...	...	...	5,10
Fe ² O ³	...	...	...	...	...	3,69
TiO ²	...	...	...	...	...	0,69
CaO	...	...	...	...	...	63,10
MgO	...	...	...	...	...	1,51
Na ² O	...	...	...	...	...	0,42
K ² O	...	...	...	...	...	0,82
SO ³	...	...	...	...	...	2,17
Perte (par différence)	...	...	...	...	...	0,32

Analyse au tamis—

100,000

Résidu sur tamis de 4900 mailles au cm² 7,26%

" " " 900 " " 0,21%

Epreuve de stabilité de volume—

Le Châtelier, expansion 9 mm (ciment non exposé à l'air)

" " 2,5 mm (après 24 heures d'exposition à l'air)

Résistance à la traction—

Ciment pur à 7 jours 57,4 kg/cm²

Mortier au sable à 7 jours 26,1 "

" " à 28 " 31,6 "

Les épreuves pour déterminer le temps de prise, du tableau 2 (page 416), et la résistance à la traction, du tableau 3 (page 417), ont été exécutées sur des éprouvettes préparées avec du ciment conservé dans de grandes bouteilles isothermes, tandis que le béton a été préparé avec des échantillons conservés dans des récipients calorifugés d'une plus grande capacité, et spécialement construits. La perte de chaleur des deux types de récipients n'était pas la même et par suite la température du contenu à un moment quelconque, était quelque peu différente. Par exemple, après huit heures de conservation, la température du ciment dans les bouteilles était de 65° C mais dans les récipients plus grands elle était tombée à 30° C.

Pour les épreuves concernant le temps de prise, on gâchait le ciment pur avec juste assez d'eau pour lui donner la consistance représentée par 5 mm de pénétration de l'aiguille de Vicat. Cette consistance correspondait à un étalement de 127 mm sur la table de coulage. Avec du ciment chaud, il fallait une plus grande quantité d'eau pour produire la même consistance. Les données numériques de la fig. 1 (page 414) montrent que le ciment chaud fait prise plus rapidement que le ciment refroidi, et cela d'une façon plus marquée, si c'est le début de la prise que l'on relève. La fin de la prise n'était cependant retardée que d'une demi-heure, si, pour le gâchage, on employait du ciment à 122° C, au lieu de ciment à 15° seulement. Cette différence peut être considérée comme de peu d'importance. Dans la fig. 1 (page 414), les chiffres de gauche donnent le temps de prise du ciment chaud en heures. Les chiffres du bas donnent l'âge du ciment qui varie entre une demi-heure et 20 jours. Dans la fig. 2 (page 415), les chiffres de gauche donnent la résistance à la traction de briquettes au mortier de sable, préparées au ciment chaud, en livres par pouce carré. Les chiffres du bas donnent l'âge du ciment au moment du gâchage, de 0 à 20 jours.

Les données numériques concernant la résistance à la traction des briquettes de mortier au sable normal, de dosage 1:3, conservées dans l'eau pendant

2, 6, et 27 jours, après un jour d'exposition à l'air humide, sont consignées dans le tableau 2 (page 416). La résistance des briquettes, préparées avec du ciment ayant la température de 122° C au moment de l'addition de sable et d'eau, était inférieure à celle obtenue avec du ciment à 15° C, la diminution était variable, et est passée de 21% au troisième jour à 16,5% au 28e jour. Le ciment a cependant toujours satisfait aux clauses de la British Engineering Standards Specification.

La résistance à l'écrasement du béton, préparé avec du ciment pris à différentes températures, est donnée tableau 4 (page 418), qui montre que, si le dosage du mélange est, par exemple, de 1 : 2 : 4, c'est-à-dire que la teneur en ciment est relativement faible, la température n'a aucune action apparente sur la résistance, probablement parce que la chaleur se dissipe rapidement dans l'aggrégat et dans l'eau. On s'est servi d'une éprouvette cylindrique de 10 cm de diamètre et 20 cm de hauteur. Les expériences, conduites à la station de recherches, ont montré que la résistance à l'écrasement, obtenue avec ces éprouvettes, était approximativement égale à 75% de celle, obtenue avec des éprouvettes en forme de cube (forme adoptée par un grand nombre de laboratoires). La résistance du cube équivalent serait par suite supérieure de 30% aux valeurs indiquées au tableau 4 (page 418).

Les moyennes des essais de résistance faisant l'objet des tableaux 2 et 3 (pages 416 et 417) montrent qu'on peut donner une interprétation définie aux légères variations de résistance des échantillons malaxés dans les 18 heures qui suivent le broyage. Ces variations sont faibles, il est vrai, et représentent au maximum une diminution de résistance de 10%, pour les mortiers, tandis que la résistance du béton augmente. Les différences de résistance que présentent les échantillons malaxés à une époque plus éloignée de la mouture n'ont aucune signification.

D'une façon générale, on peut conclure que l'utilisation de ciment "chaud" dans les conditions normales du chantier n'a qu'une influence insignifiante.

On a procédé le 23 juillet 1929 au bétonnage d'une section de route en présence d'un représentant de la station de recherches. Cette section avait approximativement 6,5 m² de surface; elle était accolée à un quai de déchargement, et par suite soumise à un service très dur. L'épaisseur totale de la dalle était de 19 cm, et sa partie inférieure, sur 12,5 cm de hauteur, était constituée par un mélange dosé en volume dans la proportion 1,5 de ciment Portland, 2,5 de pierres, et 2 de briques cassées. Ce mélange n'avait aucune plasticité, et a nécessité un pilonnage. La couche superficielle de la dalle, de 6,5 cm d'épaisseur, était dosée en volume dans la proportion 1 de ciment, 2 de pierres concassées (62,5 mm et en dessous) et 1,5 de cailloux. On ajoutait au mélange suffisamment d'eau pour arriver à la consistance correspondant à un affaissement de 10 à 13 cm à l'essai dit "slump test."*

Le ciment utilisé était à la température de 115° C au moment où on versait le contenu du récipient dans la caisse servant au malaxage. Les diverses températures intervenant dans une même opération de malaxage du béton destiné au coulage de la couche superficielle, étaient les suivantes :

Température du ciment	...	...	...	115° C
Température de l'eau	...	...	...	210° C
Température du ciment et des matériaux				
au malaxage à sec	...	...	...	40° C
Température du ciment et des matériaux				
au malaxage humide	...	...	...	32° C

Ces données numériques concernent le béton utilisé pour la couche superficielle du panneau tout entier.

La circulation sur la dalle a été autorisée au bout de deux jours, temps pendant lequel on a continué à entretenir l'humidité du béton. Après onze semaines de service intense, un représentant de la station de recherches a examiné le béton; de dernier était en excellent état, et ne présentait ni fissures, ni signes de désintégration.

Le tableau 2 (page 416) indique le temps de prise du ciment chaud. La colonne 1 donne l'âge du ciment soumis aux essais. La colonne 2 donne les conditions de conservation (l'essai à 30 minutes a été fait sur du ciment à la sortie même du broyeur; les essais à 18 heures, 3 jours, 8 jours et 20 jours ont été faits sur du ciment conservé dans des bouteilles isothermes; et ont été exécutés à la station de recherches; les essais à 14 jours, ont été faits avec du ciment ayant 14 jours d'exposition à l'air, en couches de 7,5 cm, et ont été exécutés à la station de recherches. La colonne 3 donne la température du ciment avant l'addition d'eau de gâchage. La colonne 4 donne la température de la pâte de ciment au moment du moulage. La colonne 5 donne la quantité d'eau de gâchage utilisée, en pour cent du matériau sec (en vue d'obtenir la consistance représentée par 5 mm de pénétration de l'aiguille de Vicat, et correspondant à un étalement de 127 mm sur la table de coulage). La colonne 6 donne le délai de prise initiale. La colonne 7 donne le délai de prise finale.

Le tableau 3 (page 417) donne la résistance à la traction de divers mortiers au sable, préparés avec du ciment chaud. La colonne 1 donne l'âge du ciment; la colonne 2 donne les conditions de sa conservation; (a) épreuve à la sortie même du broyeur; (b), (c), (d) et (e) conservation dans un récipient étanche à l'air; (f) 14 jours d'exposition à l'air en couches de 7,5 cm. La colonne 3 donne la température du ciment avant malaxage. La colonne 4 donne la température du mortier au moment du moulage. La colonne 5 donne la quantité d'eau de gâchage en pour cent du ciment. Cette série de briquettes a été préparée au laboratoire de la cimenterie. La colonne 6 donne la résistance à la traction en kilogrammes par centimètre carré, au 3e, 7e, et 28e jour. Cette série d'essais a été entreprise à la cimenterie, tous les autres essais ont été exécutés à la station de recherches.

§ = Moyenne des essais. La dernière ligne des chiffres concernant le même essai donne l'erreur probable.

Le tableau 4 (page 418) indique la résistance à la compression de béton, dosé à 1:2:4 préparé avec du ciment chaud. Détail du dosage: une partie en poids de ciment, deux parties en poids de sable spécial lavé, à arêtes vives, admis par la maille de 6,3 mm, et quatre parties en poids de pierres lavées et concassées, admises par la maille de 19 mm et refusées par la maille de 6,3 mm. La quantité d'eau de gâchage ajoutée était suffisante pour donner au mélange la consistance correspondant à l'affaissement de 2,54 cm au " slump test." La colonne 1 donne l'âge du ciment, et la colonne 2 les conditions de sa conservation (elle a eu lieu chaque fois dans des récipients étanches à l'air). La colonne 3 donne la température du ciment avant malaxage. La colonne 4 donne la température du mortier au moment du moulage. La colonne 5 donne la quantité d'eau de gâchage en pour cent du ciment. La colonne 6 donne la résistance à la compression en kilogrammes par centimètre carré, au 3e, 7e, et 28e jour. § = Moyenne des essais. La dernière ligne des chiffres concernant le même essai donne l'erreur probable.

* Rappelons que l'essai dit " Slump test " consiste à remplir de béton sortant de la bétonnière un tronc de cône sans fond. Après enlèvement de cette forme, la masse de béton s'affaisse plus ou moins, dans des conditions qui permettent d'évaluer le degré de plasticité.

Le four rotatif dans la fabrication du ciment.—II.

Par W. GILBERT, Wh.Sc., M.Inst.C.E.

L'AUTEUR a eu à surveiller pendant le cours de sa pratique professionnelle des essais de consommation en combustible et des essais de rendement relatifs à des fours rotatifs appartenant à dix-neuf usines différentes. Il a élaboré pendant ce temps un système de marche des opérations. Il s'agit maintenant de décrire au point de vue général les méthodes à suivre pour effectuer les mesures les plus importantes dont l'obtention s'avère indispensable, et de décrire ultérieurement en détail un essai typique. On établira le bilan des quantités de chaleur entrant en jeu, et on en déduira l'économie qu'on peut réaliser sur le charbon dans les cas où cette économie est possible.

Période d'essai.—L'essai effectué sur un four rotatif durerait habituellement une semaine. La période nécessaire dépend en partie de la quantité de charbons contenue dans les différentes trémies et dans les machines dessiccatrices et broyeuses à charbon, quantité dont il faut tenir compte au commencement et à la fin de chaque essai. Une période trop courte pourrait causer des erreurs d'évaluation d'autant plus accusées que la période est plus courte. La valeur du rendement varie dans une certaine mesure d'un jour à l'autre, cette variation étant due probablement à la formation de croûtes de clinker, à des arrêts de courte durée, à de faibles variations dans la composition et la teneur en eau de la matière première, ou à l'état de sécheresse insuffisante du charbon pulvérisé.

Ainsi, pour qu'un essai puisse être pris comme un exemple typique, il doit s'étendre sur une période de plusieurs jours. Un temps suffisant est également indispensable pour permettre à l'ingénieur préposé aux travaux de recherches et n'ayant pas eu de contact préalable avec le travail de l'usine, de pouvoir se rendre compte exactement du fonctionnement du four pris avec les machines de séchage et de broyage du charbon qui lui sont attachées, dans tous ses détails.

Pesage du charbon brut.—Jusqu'à présent, en Angleterre, des bascules automatiques pour le pesage du charbon ne sont pas universellement employées dans les usines de ciment. La direction connaît approximativement le poids de charbon acheté et le poids de ciment vendu; on calcule facilement, généralement deux fois par an, le rapport entre les deux données précédentes après avoir tenu compte des quantités se trouvant en stock.

Le charbon brut arrive généralement à l'usine: (a) par wagons de chemin de fer; (b) par chalands.

Charbon arrivant par wagons.—Si l'usine possède un pont à bascule suffisamment grand pour peser un wagon chargé de charbon le problème devient relativement simple, puisqu'on peut peser les wagons pleins employés pendant l'essai puis les peser une fois vidés, tout en inscrivant régulièrement sur un registre les différentes pesées. Dans le cas contraire, on a des fois intérêt à peser les wagons au pont à bascule de chemin de fer le plus proche.

Dans le cas où il ne se trouverait pas de pont à bascule, il est souvent possible de charger directement à l'aide de pelles le charbon des wagons dans des

Pour les Figs. 1-7, voir le numéro de janvier.

brouettes. Le charbon est ensuite pesé en portions de 127 kg à l'aide d'une bascule à plateforme. Il est commode d'avoir des brouettes vides pouvant contenir des poids égaux et de peser exactement chaque fois 127 kg ce qui simplifie le travail d'enregistrement.

Pour un usine possédant un seul four de 60 m, on aura besoin de peser près de 350 tonnes de charbon en sept jours ou 168 heures. Une quantité double sera nécessaire pour une usine possédant deux fours.

Charbon arrivant par chalands.—D'ordinaire, les livraisons par chalands sont intermittentes et se font relativement par grosses quantités à la fois. On dépose souvent le charbon déchargé dans un entrepôt à fond plat ou dans un hangar. De là, on peut le peser par portions de 127 kg à l'aide de brouettes comme nous l'avons déjà décrit. L'expérience montre qu'on ne saurait toujours compter sur les ouvriers qui pèsent le charbon au moyen des brouettes pour avoir le poids exact, ou pour enregistrer d'une manière exacte le nombre des brouettes pesées; on est donc obligé d'avoir recours d'ordinaire à trois surveillants, un pour chaque équipe de 8 heures pour contrôler les opérations de pesage.

Méthodes spéciales de pesage du charbon.—Si, comme c'est souvent le cas, le matériel de séchage et de broyage du charbon brut est aménagé pour desservir plusieurs fours, on doit effectuer les essais sur ces fours en les considérant comme une seule unité. Dans des cas spéciaux, toutefois, l'auteur a effectué des essais sur un seul four appartenant à un groupe de fours, en pesant le charbon pulvérisé sec sur une bascule à plateforme dans une trémie à mince paroi d'acier pouvant contenir 250 kg. Le poids était indiqué sur un cadran de grand diamètre permettant ainsi d'effectuer des mesures faciles et rapides. Il a été indispensable d'aménager un élévateur supplémentaire et deux convoyeurs pour le remplissage et le vidage de la trémie, avec des soupapes d'entrée et de sortie appropriées. Pour l'entrée et la sortie de la matière, on a adapté des conduites flexibles. L'appareil entier était recouvert d'une enveloppe empêchant l'entrée des poussières pendant le travail.

Une autre méthode employée quelquefois pour le pesage du charbon pulvérisé alimentant un seul four, consiste à enregistrer le nombre de tours effectué par les conduits hélicoïdaux d'alimentation à la base de la trémie sur la plateforme de brûlage, et de déterminer par des mesures appropriées les chiffres indiquant le poids de charbon pulvérisé déchargé par tour à travers chaque conduit hélicoïdal d'alimentation. Cette méthode sera mentionnée à nouveau dans la description de l'essai. Elle doit être employée uniquement dans le cas où le pesage direct du charbon brut employé est impossible.

Teneur en humidité du charbon brut.—On doit déterminer la teneur en humidité du charbon brut au moment de son pesage. Quand on le pèse à l'aide de brouettes, on prélève sur chaque brouette un petit échantillon qu'on met dans un réservoir couvert. La quantité prélevée sur le charbon pesé pendant 8 heures est convenablement mélangée. On la divise et on effectue finalement deux déterminations de la teneur en humidité. Pour le charbon livré par wagons, il est généralement avantageux de prélever des échantillons de poids déterminé à intervalles réguliers pendant le déchargement du charbon s'écoulant dans le convoyeur et tombant dans la trémie située au-dessus du sécheur à charbon brut.

L'humidité dans le charbon séché.—Il faut que le charbon séché contienne de l'humidité, pour assurer l'efficacité du sécheur à charbon. On prélève toutes les heures un petit échantillon sur le charbon quittant le sécheur, et on le

dépose dans un silo couvert. Toutes les huit heures, on mélange le contenu du silo, puis on le divise pour effectuer deux déterminations de la teneur en humidité sur l'échantillon résultant.

Pouvoir calorifique et teneur en humidité du charbon pulvérisé.—Il est relativement facile d'opérer un échantillonnage du charbon pulvérisé pouvant donner la valeur moyenne du pouvoir calorifique on prélève pour cela toutes les heures un petit échantillon à l'endroit où le charbon pénètre dans le tuyau de brûlage. Les échantillons obtenus pendant huit heures sont mélangés. On en prélève un échantillon qui servira à fournir deux déterminations relatives au pouvoir calorifique et à la teneur en humidité. L'humidité contenue dans le charbon pulvérisé est régulièrement plus faible que celle contenue dans le charbon sortant du sècheur, étant donné qu'une partie de cette humidité disparaît pendant l'opération de broyage.

Degré de pulvérisation du charbon.—On prélevait toutes les heures des échantillons sur le charbon sortant du moulin broyeur. L'essai consistait à examiner le résidu restant sur tamis 4900 au cm^2 et 1600 au cm^2 .

Pesage du clinker.—Dans plusieurs usines, le clinker sortant à l'extrémité du refroidisseur se rend directement dans des wagons de 50 cm ou 60 cm de hauteur, et pouvant contenir 1 ou 1,5 t. On pèse ces wagons sur la plateforme d'un pont à bascule, puis on les décharge soit dans les appareils de broyage, soit sur l'amas de stockage. Il est nécessaire, en général de vérifier la bascule avec des poids marqués (25 kgs) et de s'assurer de la présence d'un homme pour chaque équipe, surveillant le pesage et inscrivant le résultat des mesures.

Peseur rotatif.—On emploie, dans d'autres usines un peseur rotatif pour peser le clinker. La fig. 8 (page 421) montre un diagramme de cet appareil avec un tableau de référence. On peut aménager convenablement une petite trémie pour alimenter le tambour en clinker.

Lorsque l'un des quadrants se trouve rempli d'un poids déterminé de clinker, le tambour s'abaisse; ce mouvement dégage les butoirs G qui se trouvaient retenus par les pièces de butée F, et le tambour, n'étant plus en équilibre tourne en déchargeant le clinker pesé. Aussitôt que le clinker commence à s'écouler du quadrant, les poids fixés sur le levier C ramènent le tambour à son niveau initial, et le mécanisme automatique d'arrêt empêche le tambour de tourner de plus d'un quart de tour. Le tambour est maintenu en position pendant le remplissage au moyen du levier à ressort H.

La quantité fournie par chaque quadrant n'est pas toujours la même, et pendant la durée d'un essai, le pesage doit être vérifié à intervalles réguliers en versant la quantité fournie par chaque quadrant dans un récipient approprié dont on pèsera le contenu sur une bascule. Dans une usine, la quantité moyenne fournie par les quatre quadrants était de 116 kgs par quadrant; le maximum enregistré atteignait 120 kgs et le minimum 110 kgs. Dans une autre usine le peseur rotatif était vérifié deux fois par jour pendant une semaine, chaque quadrant portant son numéro d'ordre. Voici les résultats obtenus :

Quadrant No.	Poids maximum enregistré (en kgs).	Poids minimum enregistré (en kgs).	Moyenne générale de la totalité des pesées (en kgs).
I ...	50,8	45,4	47,3
II ...	47,9	43,8	46,3
III ...	48,2	42,9	45,5
IV ...	46,4	43,8	44,9

Pendant les opérations, cette machine peut être employée avantageusement, étant donné qu'elle pèse d'une façon continue en demandant peu d'attention. Quand on veut faire des essais, toutefois, l'emploi d'une bascule à plateforme est préférable.

Analyse des gaz dégagés.—La composition des gaz de dégagement est réglée en vue de maintenir l'excès d'air entre des limites convenables, nommément entre 2,5% et 7,5%. Pour cela, il suffira de mesurer la quantité d'oxygène présente pour cent.

Les gaz sont ordinairement recueillis dans un tuyau de 6 mm de diamètre qui s'enfonce de 60 cm environ à l'intérieur de l'extrémité de sortie des gaz appartenant au four. Ce tuyau se trouve porté par un tuyau de 30 mm de diamètre qui le contient. Le gros tuyau est porté par un rail approprié, situé à côté de l'extrémité du four. Le tuyau de 6 mm est constamment engorgé par la matière première portée jusqu'à l'extrémité du four par les gaz, de sorte qu'on doit s'arranger pour pouvoir le retirer à l'instant voulu aux fins de nettoyage. Pour les essais relatifs à la plupart des fours, on a employé l'appareil Orsat; on faisait quatre évaluations par heure des quantités de CO_2 et de O_2 pendant le jour. Il aurait été préférable d'effectuer les mesures sur 24 heures mais il n'a pas été possible de le faire à cause de l'insuffisance du personnel.

Appareil enregistreur de mesure de l'oxygène.—Puisque l'analyse des gaz sortants est une opération importante, il est avantageux d'effectuer les mesures avec un enregistrement continu. Quelques usines ont essayés dans ce but un appareil enregistreur de mesure de l'oxygène. Cet appareil est relativement coûteux, si on veut l'installer pour une courte période. Le gaz est aspiré dans l'appareil, mesuré, puis rejeté par l'action de l'eau qui s'écoule d'un réservoir situé à une hauteur de 1 m 50 environ au-dessus de l'instrument. L'agent d'absorption est le phosphore. Le pourcentage en O_2 contenu dans le gaz est enregistré sur une feuille mue par un mouvement d'horlogerie, et l'on peut effectuer près de 15 lectures par heure.

L'eau disponible dans une usine de ciment contient souvent des sédiments, du sable ou d'autres matières étrangères près de l'extrémité supérieure du four. On a trouvé qu'une valve de 25 mm de diamètre située sous une hauteur d'eau de 1 m 50 et ouverte de 0 m 1 est capable de fournir toute l'eau nécessaire, mais que des arrêts étaient fréquents, causés par l'obstruction de cette ouverture. Finalement, on fournit l'eau à l'appareil au moyen de becs de 0 cm 3 de diamètre fonctionnant sous une hauteur d'eau de 1 m 20 et entourés chacun par un tamis circulaire de 140 mailles au cm^2 . Avec un travail continu, les gaz n'arrivaient pas à être assez froids avant d'atteindre l'appareil, de sorte qu'on a aménagé un petit condenseur muni de tubes de laiton de 0 cm 6. Si on se trouvait dans la nécessité de placer l'appareil enregistreur à quelque distance de l'extrémité du four, l'expérience montre qu'on a alors de grandes difficultés à rendre les jointures de fer du tuyau d'échappement assez hermétiques pour empêcher le passage de l'air.

Le tuyau de tirage adapté à l'extrémité du four devait être libre de toute matière première séchée; souvent on ne pouvait pas savoir d'après la feuille de appareil enregistreur si le tuyau était engorgé ou non puisque l'instrument continuait quand même à enregistrer. On a trouvé, en fin de compte, qu'un contrôle continu des lectures données par l'appareil de mesure enregistreur de l'oxygène Orsat était hautement désirable et, dans ces circonstances l'emploi unique de l'appareil Orsat a été jugé suffisant.

Dans une ou deux des usines, toutefois, la comparaison entre les feuilles d'enregistrement de O_2 avec des diagrammes relevés sur un appareil enregistreur

de mesure de la vitesse, actionné par l'arbre des alimentateurs hélicoïdaux en charbon pulvérisé a donné d'utiles renseignements. Les fours rotatifs fonctionnent d'ordinaire sous un régime d'approvisionnement constant en air; il s'ensuit que le pourcentage de O^2 existant dans les gaz de dégagement dépendra de la proportion de charbon alimenté dans le four. Par conséquent, si une augmentation dans la vitesse des alimentateurs hélicoïdaux en charbon n'était pas suivie par une réduction correspondante du pourcentage de O^2 dans les gaz de dégagement, on pouvait conclure que le charbon pulvérisé adhérerait à la trémie au lieu de s'écouler normalement; et réciproquement, un accroissement subit du charbon pulvérisé déchargé par les alimentateurs hélicoïdaux pouvait être révélé et mesuré d'une manière analogue.

Des renseignements semblables étaient ensuite recueillis dans chaque usine, en comptant le nombre de tours par minute effectués par l'alimentateur hélicoïdal en charbon pendant que le gaz s'échappait du four pour être analysé dans l'appareil Orsat.

L'auteur estime, toutefois, qu'un appareil enregistreur de mesure de O^2 , s'il est soigneusement installé et surveillé pourrait être compté à l'actif de plusieurs usines de ciment.

Les mesures de température.—Les mesures les plus importantes furent effectuées au moyen de couples thermiques cuivre-constantan enrobés dans des gaines d'acier, en relation avec des enregistreuses à fils (quadruple, double et unique), et un indicateur portable. Les températures au-dessous de $177^{\circ} C$ étaient mesurées autant que possible au moyen de thermomètres à mercure, dans le cas où un enregistrement continu n'était pas nécessaire.

Gaz sortant du four.—Le pyromètre employé pour les gaz sortant du four doit être placé à une distance de l'extrémité extérieure du four ne dépassant 15 cm, à l'opposé du centre de l'ouverture et sur l'un ou l'autre des côtés du tuyau amenant la matière première. Cette disposition permet d'obtenir des mesures moyennes, suffisantes pour le travail général de l'usine. Si l'extrémité du pyromètre se trouvait en regard des surfaces à matières premières humides et relativement froides, à l'extrémité du four, les lectures pourraient donner des chiffres trop bas. On est actuellement en train de rechercher l'étendue de l'erreur commise.

Entre l'extrémité du four et la base de la cheminée, la température des gaz de dégagement tombe rapidement à cause de l'air froid introduit par les tuyaux de la cheminée. On a eu, par conséquent à repérer la température à la base de la cheminée.

Pyromètre de mesure de la température de surface.—Afin de mesurer la température de surface de l'ossature du four et de celle du refroidisseur dans différents endroits avant de calculer la perte par rayonnement, on employa le type de pyromètre indiqué dans la fig. 9 (page 424). Les fils de cuivre et de constantan formant la soudure thermique se trouvaient emboîtés dans un disque de cuivre de 1 cm 6 de diamètre et de 0 cm 24 d'épaisseur. On coupa la gaine du pyromètre suivant les instructions indiquées et on boucha l'extrémité ouverte avec une garniture d'asbeste. Le reste de la gaine était fait comme à l'ordinaire. Pour effectuer une mesure de température superficielle, on arrêtait le four pendant 30 secondes environ, et on appliquait le disque de cuivre contre la surface de l'ossature, en ayant soin de gratter au préalable la rouille ou la poussière pouvant exister à cet endroit. Le disque se trouve chauffé sur sa surface antérieure par conduction et refroidi sur sa surface postérieure par rayonnement et convection, mais il est probable qu'avec un très bon contact entre le disque et l'ossature du four, l'erreur commise ne dépasserait pas un ou deux degrés. Aussitôt que la lecture sur l'indicateur devient stable, on

doit déplacer le disque de 5 cm environ le long de l'ossature, et on doit obtenir d'ordinaire une lecture légèrement plus grande. Il est commode, quand on fait les mesures d'avoir une série de plombs compensateurs de 9 m de longueur environ. La méthode suivant laquelle on applique les mesures de température effectuées sur l'ossature au calcul du rayonnement du four et des refroidisseurs sera décrite plus loin.

Pyromètre pour l'air chaud.—Il n'est pratiquement pas possible de mesurer la température de l'air admis dans le four et venant du refroidisseur au moyen d'un pyromètre ordinaire inséré à la base de la coiffe du four, car le rayonnement relatif au clinker descendant et celui relatif aux surfaces adjacentes de briques réfractaires donneront des résultats de mesure trop élevés. Un fait analogue peut être observé en tenant un thermomètre à mercure près d'un foyer ordinaire; une température élevée sera enregistrée, cette température étant due à la chaleur rayonnée par le feu, malgré que l'air entrant à travers la grille soit presque à la même température que la chambre.

Après une longue expérimentation, la méthode finalement adoptée consista à pomper une petite quantité d'air prise à l'endroit où s'opère la chute du clinker ou à la base de la coiffe du four, puis de mesurer sa température après avoir éliminé la chaleur de rayonnement. Ce dispositif est représenté à la fig. 10 (page 424) où l'on soutire de la base de la coiffe du four l'air chaud sortant du refroidisseur. Le température mesurée s'étend d'ordinaire entre 314° à 425° C.

Dans la position donnée au pyromètre pendant son emploi, les mesures effectuées risquent de donner des chiffres trop faibles, à moins que des dispositions ne soient prises pour empêcher le rayonnement, dans l'air ambiant, de la surface entourant immédiatement le couple thermique. Chacun des tubes se trouvant dans l'agglomération de tubes que comprend le dispositif adopté, est chauffé par convection, grâce à la circulation forcée; mais la chaleur ainsi communiquée sera rayonnée de tube en tube et, finalement, elle sera entièrement rayonnée de la surface extérieure du tube extérieur. Par conséquent, en prenant un nombre suffisant de tubes, l'erreur due à la perte par rayonnement peut être réduite de 0,5 ou 1° C. L'indicateur donne d'ordinaire une indication fixe six ou sept minutes après le fonctionnement de l'aspirateur.

Mesures relatives à l'air.—Les mesures relatives à l'air qu'il s'agit d'effectuer consistent d'ordinaire dans la mesure de la quantité d'air admise dans le four par: (a) la conduite de brûlage du charbon; (b) le conduit de chute du clinker; (c) les fuites de l'enveloppe de raccordement; (d) les conduits ou ouvertures d'admission de l'air chaud.

Dans plusieurs usines, il existe un système de tubulures au moyen duquel se fait l'approvisionnement en air chaud destiné au séchage, cet air étant pris au refroidisseur pour se rendre dans le sécheur à charbon. Autrement, on peut employer un fourneau séparé. L'air chaud est habituellement conduit à la fois autour de l'ossature du sécheur et à l'intérieur de celui-ci. Il est souvent indispensable de mesurer l'écoulement de l'air chaud dans les tuyaux ou passages cités ci-dessus.

Remarques générales sur l'écoulement de l'air.—Supposons que nous ayons un tuyau ou un conduit (A, fig. 11, page 424) à travers lequel s'écoule de l'air avec un débit uniforme dans la direction de la flèche, et insérons des tubes de laiton ayant des bouts convenablement façonnés, et communiquant avec une jauge à eau constituée par un tube en U, marqué D. Les bouts de ces tubes sont représentés à une plus grande échelle dans la fig. 12 (page 426). Le tube B, qui se termine par un disque en laiton parallèle à la direction

d'écoulement de l'air servira à transmettre à la jauge à eau D la pression statique, ou compression de l'air. Le tube C, ayant un bout conique et disposé face au courant d'air, servira à transmettre à la fois la pression statique et la pression due à la vitesse de l'air traversant le tuyau A. Par conséquent, la jauge à eau D, qui mesure en somme la différence entre les pressions dans les deux tubes, indiquera la pression due à la vitesse seulement. Le disque de laiton, situé à l'extrémité du tube B, remplit les conditions nécessaires et suffisantes pour empêcher que la mesure de la pression statique ne soit faussée par une action inductive.

La disposition face au courant du tube C dans la fig. 11 (page 424) a été introduite par Pitot, et le disque situé à l'extrémité du tube B par Darcy, mais, pour des raisons de commodité, toute combinaison de tubes employée pour des mesures sur l'air sera mentionnée ici comme étant constituée par des tubes Pitot.

La mesure, en cms d'eau, de la pression créée par la vitesse de l'air, correspond aux valeurs exigées en pratique; partant de ces mesures, on peut calculer la quantité qui s'écoule à travers un tuyau ou un tube suivant une méthode que nous décrirons. On a trouvé, toutefois, qu'il était nécessaire d'adapter une forme spéciale et mieux conçue de jauge à eau D, étant donné que la plupart des mesures effectuées ne portent pas sur plus de 0 cm 05 de colonne d'eau.

La fig. 12 (page 426) représente un dispositif approprié de tubes Pitot pour la mesure de la vitesse de l'air dans le conduit de chute du clinker d'un four rotatif. Les tubes étant destinés à supporter une température élevée, il ne doit pas y avoir de soudure réalisée au moyen d'un corps à souder étranger; on emploiera donc un modèle de construction simple où de petites ouvertures risquant de s'engorger avec la poussière se trouvant constamment dans le conduit de chute du clinker n'existeraient pas. La longueur totale des tubes peut atteindre 1 m 20 environ, en employant trois tronçons.

Avec de l'air froid dépourvu de poussière, l'emploi d'un dispositif ramassé de tubes Pitot a été introduit par le National Physical Laboratory, Angleterre.

La fig. 13 (page 427) montre un dispositif qui est une modification, en plus robuste, du précédent, et qui convient parfaitement aux usines de ciment. La pression totale est mesurée par le tube intérieur A, disposé de manière à faire face au courant d'air, tandis que la pression statique est mesurée au moyen de petits trous percés dans le tube extérieur B. Le tube A et l'espace compris entre les deux tubes communiquent chacun séparément avec chaque branche de la jauge à eau au moyen de tubes de caoutchouc aboutissant aux points terminaux C et D. Les jointures sont soudées par soudure autogène (sans l'introduction d'une matière à souder étrangère), pour pouvoir résister à l'air ou aux gaz chauds, portés à des températures de 425° à 480° C. Le dispositif de tubes Pitot représenté dans la fig. 12 (page 426) est employé généralement pour des mesures sur l'air traversant des tuyaux de cheminée en briques de maçonnerie, puisqu'on peut lui donner la longueur voulue. Le modèle représenté dans la fig. 13 (page 427) est employé pour les tuyaux et les tiges d'acier.

Jauge à eau de précision.—La jauge à eau affectée à la mesure de la vitesse de l'air dans les divers tuyaux et conduits appartenant à une usine équipée avec un four rotatif (excepté le tuyau de brûlage du charbon), accuse généralement une dénivellation de l'ordre de 1 cm 9 à 0 cm 025 et même moins. Un modèle spécial de jauge à eau est représenté dans les fig. 14, 15 et 16 (page 428) avec un tableau de référence. En principe, l'appareil est une jauge à eau constituée par un tube en U avec cette différence qu'un microscope est adapté pour repérer le niveau de l'eau dans l'une des branches du tube, et un dispositif micrométrique adapté au microscope pour la mesure du déplacement

du niveau de l'eau quand on effectue une mesure. Les vases de verre A_1 et A_2 ensemble, avec le tube de communication B, correspondent au tube en U ordinaire.

On verra facilement que le bâti supérieur en fer portant les vases de verre est aménagé avec trois supports, ceux-ci s'emboîtant dans des enveloppes coniques évasées, légèrement aplaties aux sommets, permettant ainsi un faible déplacement latéral. Les bâtis supérieur et inférieur sont rendus solidaires au moyen du ressort K.

Deux longueurs de tubes de pression de 0 cm 8 en caoutchouc massif de 6 m de long font communiquer entre eux les tubes de Pitot situés dans les tuyaux ou conduits d'une part, et d'autre part la jauge à eau. Les extrémités de la tubulure de pression sont adaptées aux chevilles de communication Q_1 , Q_2 visibles dans la fig. 15 (page 428). A travers des trous percés dans le bâti F, on effectue au moyen des tubes de caoutchouc légers P_1 et P_2 une communication convenable avec les vases de verre A_1 et A_2 . Le poids exercé par les longs tubes massifs de caoutchouc est ainsi supporté directement par le trépied inférieur et non pas par les vases de verre.

Quand on veut faire une mesure, on dispose de trépied dans une position convenable, après avoir enlevé les chevilles Q_1 et Q_2 . On ajuste approximativement le niveau du microscope sur le support M et on tourne le tambour H jusqu'à ce que le niveau de l'eau dans le tube A_2 apparaisse tangent au réticule horizontal du microscope. On note la lecture sur le micromètre. Le niveau de l'eau (convenablement éclairé) apparaît dans le microscope comme une ligne brillante, courbe et inversée, comme on le voit en L, et on peut définir sa position avec une grande précision au moyen du fil horizontal réticulaire du microscope. C'est là l'un des principaux avantages de cet appareil. On dispose les tubes Pitot dans la position convenable à l'intérieur du tuyau ou du conduit; on fixe les chevilles Q_1 et Q_2 . Supposons qu'on adapte le tube de vitesse à Q_1 ; le niveau de l'eau baisse alors dans le vase A_1 , tandis que le niveau va monter dans A_2 . On monte maintenant le tube de verre A_2 au moyen du tambour H, et l'eau s'écoule de A_2 en A_1 . Etant donnée la position des supports G_1 et G_2 , le niveau dans le vase A_1 n'a pas varié. On continue à tourner le tambour jusqu'à amener le niveau de l'eau en A_2 à être tangent au fil horizontal du réticule. On fait alors une seconde lecture sur le tambour micrométrique. La position de l'eau dans chacun des deux vases de verre A_1 et A_2 , par rapport au niveau moyen, est exactement la même que ce qu'elle était avant l'introduction des chevilles Q_1 et Q_2 , et la pression actuelle de l'eau qui fait équilibre à la pression créée par la vitesse de l'air et dont on veut déterminer la valeur est mesurée par le nombre de tours que le tambour a dû effectuer pour ramener les niveaux à la position initiale. Cependant, l'axe du tambour H ne coïncidant pas exactement avec l'axe du vase A_2 , toutes les lectures doivent être multipliées par une constante, qui dans

le cas qui nous occupe est égale à : $\frac{14}{13,125}$ (fig. 14, page 428).

Afin de rendre le niveau de l'eau clairement visible à travers le microscope, on adapte généralement un miroir pour concentrer la lumière à l'endroit voulu; mais afin de pouvoir l'employer dans une usine de ciment à l'intérieur des bâtiments où la lumière du jour est plutôt sombre, l'auteur trouve qu'il est généralement préférable de suspendre une lampe électrique portative à quelque distance du microscope, et exactement dans la direction d'observation.

Un modèle fragile de jauge à eau de précision, monté sur trois vis de niveau a été beaucoup employé par le National Physical Laboratory (Angleterre).

Le modèle plus robuste, monté sur trépied, et décrit dans cet article est basé sur cet appareil. Il a été construit sur les indications de l'auteur pour l'usage des usines de ciment.

Fig. 8 (page 421) Peseur rotatif à clinker.—A=Tambour rotatif; B=leviers latéraux portant le tambour et les couteaux de support; C=levier central portant des poids; D=barre à distance; E=bâti fixe de la machine; F=pièces de butée calées dans chaque côté du bâti; G=quatre butoirs sur chaque plaque extrême du tambour; H=levier avec ressort de rappel; I=plaque de garde; J=compteur alternatif de va-et-vient.

Fig. 10 (page 424) Pyromètre pour l'air chaud.—A=Gaine du pyromètre, avec tête en porcelaine et trois ailes de support; B=couple thermique cuivre-constantan; C=Trois fils portant le couple; D=quatre tubes d'acier poli, espacés l'un de l'autre et aboutissant au tube extérieur E; E=tube d'acier extérieur; F=communication avec aspirateur à main; G=bâti à l'intérieur de la coiffe du four; H=enveloppe de raccordement en asbeste; I=anneau en forme d'angle, en coupe, emboîté au tube E.

Fig. 11 (page 424) Diagramme d'écoulement de l'air dans un tuyau.

Fig. 12 (page 426) Tubes Pitot pour conduit de chute du clinker.

Fig. 13 (page 427) Tube Pitot: modèle massif du National Physical Laboratory (Angleterre).

Figures 14, 15 et 16 (page 428) Jauge à eau de prévision: trois vues. A₁A₂=Vases de verre contenant de l'eau; B=tube de communication des vases de verre; C=robinet; D₁D₂=bouchons de liège, supportant les tiges des vases de verre; E=bâti de fer supérieur; F=bâti de fer inférieur; G₁G₂=supports pour bâti supérieur; H=tambour micrométrique, avec 50 divisions; I=vis micrométrique de 0 cm 252; J=échelle graduée verticale, divisée en 0 cm 252; K=ressort de tension; L=microscope, avec réticule (deux fils en croix); M=support du microscope; N=support éventuel pour miroir; O=trépied de support; P₁P₂=tubes légers en caoutchouc; Q₁Q₂=chevilles de communication pour les tubes de pression de 0 cm 64 communiquant avec les tubes Pitot.

INTERNATIONAL

“CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE”

Tarif des Abonnements.

À cause de l'accroissement considérable du prix de revient de “CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE” sous sa nouvelle forme, il est devenu nécessaire d'élever le prix du numéro à 2 schellings. Le prix de l'abonnement annuel (y compris les frais de port pour tous pays) est de 24 schellings (Frs. 150). Les abonnés actuels, portés sur nos listes et dont l'abonnement est payé d'avance continueront à recevoir la publication aux anciennes conditions, jusqu'à expiration de leur abonnement.

Les abonnements annuels doivent être adressés à “CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE,” 20, Dartmouth Street, London, S.W.1, Angleterre, et les publications seront adressées par la poste, régulièrement chaque mois, pour la durée de l'abonnement.

Le comportement du ciment, des matières ajoutées et du béton aux températures élevées.*

Par Dr. RICHARD GRÜN et Dr. HUGO BECKMANN (Düsseldorf).

PAR suite de l'augmentation des dimensions des constructions modernes, et surtout au point de vue de la hauteur, la sécurité à l'égard du feu, c'est-à-dire la résistance du béton à l'influence du feu, est devenue une question d'une importance que ne cesse de croître. En effet, les exigences posées aux constructions supportantes au point de vue de la pression, augmentent continuellement avec l'accroissement des dimensions des constructions. C'est ainsi qu'il faut exiger, par exemple pour les maisons à multiples étages que ces constructions supportantes ne s'affaissent pas sous le poids des constructions qu'elles supportent, même si elles sont exposées pendant plusieurs heures à l'influence du feu. Car, si les soutiens d'une maison à multiples étages, dans laquelle un incendie aura éclaté par exemple dans les premiers étages, cèdent, il pourra en découler des préjudices incalculables. Dans la pratique, les constructions en béton ont fait preuve d'une remarquable résistance aux incendies, résistance qui dépasse considérablement celle de constructions correspondantes en fer.

Également des maisons d'essai exposées à l'influence de la chaleur se sont comportées, en général, d'une manière étonnamment favorable. Dans le laboratoire on a examiné, par des études étendues, les propriétés de diverses matières additionnelles en ce qui concerne la stabilité de volume. De même, on a éclairci largement la question de la variation de volume du ciment durci.

Cependant, il n'existe que très peu d'examen de l'action exercée par le feu sur la résistance à la compression du béton. Dans ce but on a confectionné, à l'aide de nombreux ciments et de matières additionnelles de composition différente, respectivement du béton et du mortier, et on a exposé progressivement ceux-ci à des températures croissantes, pour constater ensuite la résistance à la compression, tant du béton refroidi lentement que du béton refroidi rapidement. Dans ce qui suit nous donnons d'abord un aperçu des essais déjà effectués et ensuite les résultats des examens nouveaux faits dans le laboratoire d'essai. Comme le béton se compose de ciment et de matières ajoutées, nous parlerons d'abord du comportement du ciment, ensuite de celui de la matière additionnelle sans ciment, c'est-à-dire des pierres pures, et enfin du comportement du béton fini.

Il est donc question en premier lieu : 1° Du comportement au point de vue chimique, c'est-à-dire (a) déshydratation en fonction de la hauteur de la température et de la durée de l'action de la température, et (b) la décarbonatation éventuelle. 2° Le comportement au point de vue physique, à savoir : (a) variation de volume, (b) variation de la résistance.

Ciment.—La déshydratation du ciment durci qui, comme on le sait, peut retenir, à l'état pur, jusqu'à 25-28% d'eau, dépend en premier lieu de la hauteur de température atteinte pendant le chauffage, et ensuite, suivant la nature des choses, de la durée du temps, pendant lequel il est soumis à l'action de la température. Endell a effectué des essais étendus à ce sujet, en ce qu'il a

* Conférence faite le 19 Novembre, 1929, lors de la huitième séance du Comité pour l'utilisation de laitier de hauts-fourneaux, nommé par la Société de Fonderies Allemandes, Düsseldorf.

déterminé tant la perte au feu des ciments Portland durcis à des températures différentes, que leur dilatation thermique linéaire.

Les courbes de la fig. 1 (page 431) démontrent que la perte au feu d'un ciment Portland durci, chauffé pendant une heure, dépend de la hauteur de la température atteinte, et qu'on obtient à environ 1000° C la déshydratation et la décarbonatation complètes du ciment Portland.

Ce qui est étonnant c'est que jusqu'à environ 300° la déshydratation des ciments Portland W_1 , W_2 , W_3 et W_4 , conservés à l'eau, croît vite, tandis qu'aucune variation n'a ensuite lieu jusqu'à 500°. Cette circonstance, qui n'a pas été mentionnée par Endell, semble montrer qu'au chauffage jusqu'à 300° une partie de l'eau est expulsée, après quoi aucune variation d'importance n'a lieu jusqu'à 500°.

L'allure des courbes au chauffage régulier du ciment Portland durci ainsi que de l'hydrate de calcium ressort des courbes tracées par Endell à la suite des essais qui précèdent, fig. 2 (page 431). A 530° il se montre distinctement des points d'arrêt qui permettent de conclure qu'à cette température il se produit une déshydratation particulièrement remarquable du ciment Portland et, par conséquent, une modification radicale de sa structure.

On n'a pu constater jusqu'ici si la déshydratation du ciment Portland se fait conjointement avec une décarbonatation. Les examens actuels se bornent purement et simplement à la détermination des points d'arrêts et des pertes au feu. Par contre, on possède des chiffres pour le comportement du ciment Portland pur durci, étant donné que le retrait et l'expansion (α) du ciment Portland ont été mesurés par Endell. Le tableau des courbes (fig. 3, page 431) montre l'allure des courbes établie par Endell, laquelle indique que d'abord il se produit une faible augmentation du volume du ciment Portland chauffé, augmentation qui à 200-300° est remplacée par un retrait considérable, puisqu'une certaine quantité d'eau est évidemment expulsée des ciments durcis et que la dilatation thermique, en dehors d'une compensation dudit retrait, a même pour effet un retrait. Le retrait correspondant du ciment Portland pur, lequel est très important dans cet ordre d'idées, n'a pas encore été examiné, mais il sera compris dans la mention des expériences.

Matières ajoutées.—La considérable résistance du ciment pur à la chaleur permettait tout d'abord de conclure que le fort endommagement arrivé à des constructions exposées à l'action du feu ne pouvait être attribué à un défaut de résistance du liant, mais plutôt au comportement défavorable des matières ajoutées. C'est ainsi que par exemple aux grands essais à l'égard de l'incendie effectués à Grosslichterfelde par Gary, toutes les parois en gravier, basalte, etc., des maisonnettes essayées, qui ont toutes été construites sous l'emploi du même ciment, se sont bien comportées, tandis que seules les parois faites en employant du granit comme matière ajoutée ont accusé des fendillements sous l'apparition de phénomènes de nature explosive. Par conséquent, il est indispensable de soumettre notamment les matières ajoutées à une épreuve approfondie. Aussi à ce sujet, il a déjà été fait de nombreuses expériences, et cela tant par les Américains que par les Allemands. Ensuite nous allons considérer la déshydratation. Ici il importe d'abord de nous occuper de la déshydratation éventuelle de par exemple le mica, déshydratation sur laquelle aucune recherche n'a pas encore été faite. Probablement le susdit fendillement du granit accompagné par des phénomènes d'effort est également à attribuer à la déshydratation à l'intérieur de la matière. Quant au comportement au point de vue chimique, il importe de tenir compte de la déshydratation qui pendant les essais de Endell a amené à des retraits considérables. La fig. 4 (page 431) montre pour le calcaire de coquilles et le calcaire blanc de

l'Allemagne du Sud—qui l'un et l'autre sont cristallins et à grains fins—la dilatation thermique linéaire par rapport à la température. La partie rayée des courbes désigne l'allure incertaine par suite de la décarbonatation. Pour la plupart des matières ajoutées, à l'exception du carbonate de chaux, ce fait semble plus important que la tenue chimique, comme il entraînera des variations de volume et de résistance.

(a) Variation du volume. Endell a également étudié la variation du volume de différentes matières employées pour la confection du béton, à savoir les cinq matières : granit, diabase, basalte, grès et laitier de haut-fourneau en morceaux. La fig. 5 (page 431) montre pour les matières nommées, la dilatation au chauffage et la contraction au refroidissement; les valeurs qui restent après le refroidissement représentent la dilatation linéaire persistante. Le laitier de haut-fourneau en morceaux a accusé la plus faible variation de volume; également le grès s'est comporté d'une manière relativement favorable, tandis que le basalte, la diabase et le granit ont accusé une dilatation thermique proportionnellement identique, laquelle était de quatre fois la dilatation thermique correspondante du laitier de haut-fourneau en morceaux.

(b) Variation de la résistance. En ce qui concerne la variation de la résistance des matières ajoutées, il suffit de renvoyer aux indications du chapitre " Béton " qui va suivre.

Béton.—Le comportement au point de vue chimique du béton est déterminé par le comportement correspondant au point de vue chimique de ses constituants, donc les matières décrites à l'article B et le ciment durci, qui a déjà été traité à l'article A.

On ne peut s'attendre à aucun nouveau phénomène de la tenue du béton fini, et en conséquence, on ne peut rien dire de supplémentaire sur le comportement au point de vue chimique de béton, comme il n'offre rien de nouveau.

Par contre, on ne peut déterminer d'avance le comportement au point de vue physique du béton en se basant sur les propriétés de ses composants : ciment et matières ajoutées, essayés séparément chacune en particulier. En effet, le béton constitue un produit de qualités physiques toutes autres que celles des composants. Le ciment chauffé séparément en tant que ciment pur a une teneur d'acide carbonique et d'eau tout à fait différente de celle qu'il possède en béton, et les matières ajoutées présentent dans le béton des grosseurs de grains différentes, qui influent sur la résistance, la dilatation et le retrait, tandis que, suivant la nature des choses, seule des morceaux isolés pourront être soumis au mesurage, lorsqu'il s'agit de l'examen des matières ajoutées proprement dites.

Jusqu'à un certain degré, la variation du volume du béton peut être déduite de la variation du volume des matières ajoutées et de celle du ciment. Comme le démontrent les tableaux de courbes reproduits ci-dessus, toutes les matières ajoutées se dilatent au chauffage, tandis qu'au contraire le ciment se contracte. En conséquence, comme la dilatation est généralement plus importante que le retrait, les bétons accuseront, sans exception, également une expansion, laquelle sera cependant plus faible que celle des matières primitives ajoutées. Endell a pu prouver par ses expériences* l'exactitude de cette hypothèse. Il démontre qu'à environ 575° les matières quartzeuses donnent au béton, par suite de la transformation du quartz de l'état alfa à l'état bêta, une dilatation croissant rapidement, tandis que, par suite de l'échappement des gaz, la

*Expériences sur la variation de la longueur et de la structure des matières ajoutées au béton et du mortier du ciment sous l'influence de températures jusqu'à 1200°, No. 50, de la Deutscher Ausschuss für Eisenbeton (la Société Allemande du Béton armé).

scorie de cuivre Mansfeld, le basalte et la diabase font gonfler le béton à 1000°. D'autre part, par suite du dégagement de l'acide carbonique, les additions de matières calcaires amènent à des retraits. Le laitier de haut-fourneau fait exception, puisqu'il n'a pour effet qu'une faible dilatation, mais toutefois régulière, du béton confectionné sous l'emploi de cette matière. Dans la fig. 6 (page 431) sont opposées les unes aux autres les courbes typiques relatives à un béton contenant des pierres quartzеuses, des pierres volcaniques, des pierres gazeuses, et enfin du laitier de haut-fourneau. La dilatation thermique linéaire est indiquée par rapport à la température.

Quant aux exigences posées à un bâtiment en cas d'incendie, la variation de résistance joue de beaucoup le plus grand rôle. Pour cette raison, de nombreux essais ont naturellement déjà été réalisés en vue de constater, jusqu'à quel point la résistance est influencée à des degrés de chaleur différents. Sutcliffe a chauffé des éprouvettes de mortier et de ciment, et il a établi que la résistance à la traction baisse, suivant la nature de la matière ajoutée, de 44 à 80%. Nitzsche a trouvé des réductions encore plus fortes de la résistance à la traction, puisqu'il a démontré, au chauffage à 300° pendant 120 heures, que la résistance primitive à la traction avait baissé à $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$.

Des expériences faites par Woolson sur la résistance à la compression, il résulte que la résistance à la compression d'une pierre volcanique chauffée par exemple à 300° a diminué à 88%, et sous l'emploi de calcaire à 58%. Par opposition à cela, les expériences de Steppe ont permis de constater, au chauffage du basalte à 500°, une augmentation de la résistance de 15%. Les susdits chiffres sont également contredits par d'autres traités techniques, par exemple celui de Gary sur les essais qu'il a faits pour la Société Allemande des Constructions en béton armé à l'égard de l'incendie dans des maisons à deux étages, essais qui ont établi qu'aucune différence de résistance à la compression n'a pu être constatée entre les éprouvettes de béton exposés et non au feu, pourvu que la matière ajoutée fût du basalte ou du granit, tandis que le béton de grès avait perdu un quart de sa résistance (Société Allemande du Béton armé). Lors des essais à l'égard de l'incendie faits en 1927 dans la tour des sapeurs-pompiers de la "Gesolei" à l'initiative de l'auteur mentionné le premier, on a constaté une réduction globale de 30 % de la résistance à la compression, en essayant la résistance à la compression des bétons jusqu'à une profondeur de 10-12 cm, tandis que dans le noyau de la colonne de béton on n'a pas trouvé la moindre diminution de la résistance.

Par suite de ces résultats contradictoires, il semblait désirable de réaliser, dans des instruments particulièrement étudiés pour cette application, encore des essais au chauffage avec différents ciments et matières additionnelles, à savoir au moyen de cubes normaux; cela d'autant plus que les expériences américaines étendues n'ont pas éclairci d'une manière définitive le problème, puisqu'elles ont simplement donné, pour les qualités des matières additionnelles au point de vue de la résistance au feu, une autre échelle que celle constatée par les expériences allemandes. Pendant ces essais il conviendrait non seulement de s'intéresser aux matières quartzеuses et au grès, mais tout particulièrement de considérer le laitier de haut-fourneau, comme celui-ci s'était comporté de la manière la plus favorable pendant les essais de Endell, ayant accusé une dilatation relativement faible et tout à fait persistante.

Nous avons donc procédé à ces essais avec lesdites éprouvettes normales, qui étaient confectionnées, suivant la courbe Fuller ainsi que suivant la courbe du volume des pores, avec les matières additionnelles en question, d'une grosseur maximum des grains de 5 mm; les éprouvettes ont été damées dans des proportions de mélange différentes en conformité des cahiers des charges.

Après leur confection les éprouvettes ont d'abord été conservées pendant sept jours dans de l'air humide, et ensuite elles ont été chauffées. Le chauffage s'est opéré dans un four à moufle chauffé par le gaz de l'usine à gaz du lieu, et conduit au moyen d'un ventilateur (fig. 7, page 433). Les éprouvettes ont été soit retirées, à l'état chaud, du four, soit laissées dans le four jusqu'à refroidissement, et enfin immergées dans l'eau. Les procédés suivis sont décrits pour chaque cas.

Les essais de résistance ont été effectués dans l'appareil Steeger-Endell, sur des éprouvettes confectionnées à l'état détrempe dans la proportion de mélange 1 : 3, matière ajoutée : grès. Les résultats se trouvent dans la fig. 8 (page 434). La hauteur de l'éprouvette a été démontrée en fonction de la température, pour un mortier de ciment de haut-fourneau et un mortier confectionné de ciment Portland et de sable quartzeux. Les essais ont été réalisés dans l'Institut de Recherches des Acéries Réunies, Dortmund.* L'allure des courbes montre que tant le béton du ciment de haut-fourneau que celui du ciment Portland restent stables sous la charge prescrite de 2 kgs par cm^2 jusqu'à environ 1150°; seulement au-delà de cette température relativement élevée, il se produit un affaissement des éprouvettes.

Afin de constater l'influence du laitier de haut-fourneau sur le ciment, on a fait des essais comparatifs entre un ciment pouzzolanique, dans lequel le laitier de haut-fourneau était employé comme pouzzolane, à savoir le ciment de haut-fourneau A. Tableau 1 (page 440) et le ciment Portland W., Tableau 2 (page 440); les qualités du ciment figurent dans le Tableau 3 (page 441). Il a été opéré sur différentes matières additionnelles, à savoir sable quartzeux, basalte, diabase et granit. La fig. 9 (page 434) montre l'allure des courbes de la résistance à la compression mesurée en pourcent pour la résistance initiale des quatre matières ajoutées en mortier de ciment de haut-fourneau et en mortier de ciment Portland 1 : 3, en fonction de la température. Les éprouvettes ont été introduites à l'état froid dans le four chaud et ensuite refroidies à l'air à la température ordinaire. Les éprouvettes avaient été emmagasinées pendant sept jours—cela s'applique également aux Tableaux 1 et 2. Chose remarquable, l'allure des courbes accuse, au commencement du chauffage d'un béton de ciment de haut-fourneau, dans le bien plus grand nombre des cas, une augmentation de la résistance, tandis que pour le ciment Portland, au chauffage à 300°, les résistances ont décliné dans la presque totalité des cas à 80-90%. A des températures plus élevées, le granit se comporte le plus défavorablement dans les deux cas. Les essais confirment donc les observations faites par le Laboratoire l'Essai de l'Etat.

Si l'on écarte l'influence des matières ajoutées, en additionnant les chiffres obtenus aux différentes températures enregistrées, sans tenir compte de la nature matières ajoutées, et en extrayant ensuite la moyenne, on arrive à l'allure des courbes indiquée dans la fig. 10 (page 434), dont il résulte distinctement que le ciment de haut-fourneau donne effectivement des augmentations de la résistance au début du chauffage. Ce phénomène doit sans doute être attribué au fait qu'à ces températures élevées le laitier de haut-fourneau intervient dans la durcissement, augmentant ainsi la résistance.

Les éprouvettes du ciment de haut-fourneau soumises aux essais qui viennent d'être décrits sont reproduites à la fig. 11 (page 436). La série supérieure représente les éprouvettes avant le chauffage, tandis que les séries suivantes montrent les éprouvettes après deux heures de chauffage aux températures indiquées. On voit clairement le mauvais comportement du sable quartzeux et

*A cet endroit nous exprimons notre sincère reconnaissance à Prof. Schulz et à Dr. Hartmann pour leur aimable assistance.

du granit. Les causes de la diminution de la résistance s'établissent distinctement en vérifiant le poids par unité de volume. La fig. 12 (page 436) met en évidence la diminution du poids à des températures croissantes. Le tableau des courbes montre en outre la variation du poids spécifique, ainsi que la porosité calculée sur celui-ci et sur le poids par unité de volume. La cause de la diminution du poids est évidemment un relâchement de la structure, qu'on voit distinctement dans les fig. 13-14 (page 436). Ces figures montrent des éprouvettes de sable quartzes en section mince avant et après chauffage à 1100°.

Afin de constater l'influence de la durée du chauffage pour les mêmes matières additionnelles, mais pour des ciments différents, les éprouvettes ont été chauffées jusqu'à dix heures, tour à tour à 300°, 500° et enfin à 700°, et chaque fois les résistances ont été déterminées par intervalles de deux heures. L'allure des courbes de la Fig. 15 (page 437) montre ce qui suit (chiffre de départ : éprouvettes non chauffées = 100) : Aussi dans ce cas le chauffage à 300° a pour effet une augmentation distincte de la résistance du ciment de haut-fourneau, et cette augmentation se présente au bout de deux heures ; ensuite l'allure de la courbe devient à peu près horizontale. Au contraire, le ciment Portland accuse une réduction de la résistance, réduction qui, elle aussi, atteint son maximum au bout de deux heures déjà. A 500° le ciment contenant du laitier de haut-fourneau souffre également moins que le ciment sans laitier de haut-fourneau. Pour ce dernier le plus haut degré de détérioration est atteint déjà après quatre heures, tandis que le ciment de laitier de haut-fourneau met plus longtemps pour atteindre cette limite, à savoir six heures.

Au chauffage à 700° la résistance pour le ciment de haut-fourneau diminue, après deux heures déjà, jusqu'à 30% de la résistance primitive. Le point le plus profond qui, en somme, soit atteint, représente une réduction jusqu'à 20% au bout de dix heures. Il en est de même pour la courbe du ciment Portland, ou autrement dit : par un chauffage plus fort la détérioration atteint, en très peu de temps, son maximum, et augmente ensuite seulement d'un peu.

Aux essais suivants, le laitier de haut-fourneau a été employé, dans des proportions plus grandes, comme matière additionnelle. Les analyses de ces laitiers de haut-fourneau ressortent du tableau 4 (page 441). Dans cette série d'essais il a été procédé de telle manière que les éprouvettes ont été posées dans le four froid ; une série d'elles a été laissée au four pour refroidissement, tandis qu'une autre série a été refroidie subitement. Le chauffage a été porté tour à tour à 300°, 500°, 700° et 900°. Une troisième série d'éprouvettes a été chauffée en vapeur d'eau de 100°. Les chiffres absolus sont réunis au Tableau 5 (page 441), tandis que les chiffres proportionnels sont donnés dans la fig. 16 (page 437). Les éprouvettes essayées avaient été conservées pendant quatre jours (trois jours à l'eau, un jour à l'air), et avaient été mélangées, suivant la courbe Fuller, avec de la pierre naturelle et du laitier de haut-fourneau, 1 : 4. Le chauffage a duré, chaque fois, deux heures. Le Tableau 5 (page 441) représente les résistances avant et après chauffage. Pour les températures à partir de 300°, les résultats sont indiqués d'abord pour le refroidissement lent et ensuite pour le refroidissement rapide. Les chiffres proportionnels de la fig. 16 (page 437) ne sont indiqués que pour le refroidissement lent. L'allure des courbes montre ce qui suit :—

Pour les matières additionnelles naturelles une faible augmentation de la résistance a lieu tant à 100° qu'à 300°, augmentation qui est sans doute à ramener à l'emploi du ciment de haut-fourneau. Par chauffage à 500°, les résistances diminuent à 45-55% des résistances primitives. Sous l'emploi de quartz et de basalte, les résistances descendent dans la plus grande mesure, à

savoir à 700° jusqu'à seulement 20-25%, et à 900° jusqu'à seulement 8-18% des résistances primitives.

Les laitiers de haut-fourneau se distinguaient les uns des autres en ce que les Rh, Vn et Gh étaient des laitiers de haut-fourneau normaux qui correspondaient aux données, tandis que le laitier de haut-fourneau Gm était un laitier particulièrement léger et écumeux qui n'y correspondait pas.

L'allure des courbes montre qu'à 300° l'augmentation des résistances apparaît ici d'une manière encore plus prononcée que pour les matières additionnelles naturelles, ce qui indique qu'à ces températures, auxquelles l'eau n'est pas encore expulsée du béton, une réaction a lieu qui a pour effet un affermissement.

A 100° rien de remarquable n'a été constaté, tandis qu'à 500°, il s'est produit une diminution qui était relativement faible; et qui dans le cas le plus défavorable s'est élevée à 40% pour les laitiers de haut-fourneau de mauvaise qualité, tandis que les laitiers de haut-fourneau de bonne qualité ont accusé une diminution de seulement 20%. A titre de comparaison les matières additionnelles naturelles accusent à la même température une diminution de 30 à 50%.

A 700° on trouve encore des résistances d'environ 30-50% des résistances primitives, tandis que les matières naturelles ont accusé ici 20-30% de diminution.

Egalement à 900° la diminution est moins forte pour les matières naturelles.

Une série des éprouvettes décrites ci-dessus ont été retirées du four après chauffage à 300°, 500°, 700° et 900°, à l'état encore chaud et rouge respectivement, pour ensuite être immergées dans de l'eau froide. Par là ont été constatées de considérables réductions des résistances, ainsi qu'il ressort du tableau des courbes (fig. 17, page 437). Voici ce qu'indiquent les chiffres: Les plus fortes réductions des résistances après refroidissement sont enregistrées à 300°. Aux températures plus élevées, auxquelles les éprouvettes sont déjà fortement détériorées, les réductions des températures ne sont plus appréciables. Le Tableau 5 (page 441) ainsi que la fig. 17 (page 437) indiquent les valeurs obtenues. A 900° le calcaire se transforme dans une masse pâteuse, fig. 18 (page 439).

Afin de déterminer la manière dont les grosseurs de grains pourront éventuellement influencer sur les résistances et sur les diminutions de celles-ci, il a été produit, suivant la courbe du volume des pores—de la même façon que suivant la courbe Fuller et avec les matières premières mentionnées ci-dessus—des matières additionnelles, dont des éprouvettes ont été confectionnées. La courbe du volume des pores et la courbe Fuller sont réunies, pour les différentes matières dans la fig. 19 (page 439). Le tableau des courbes montre que, suivant la courbe du volume des pores, il se trouvait tout naturellement des particules très fines dans les matières additionnelles. Les essais de résistance ont été effectués ici jusqu'à 500°; les résultats sont reproduits dans le tableau 6 et tracés dans le tableau des courbes 20 (page 440). Aussi dans ce cas une augmentation de la résistance apparaît à 300°, et les laitiers de haut-fourneau se comportent plus favorablement que les matières naturelles.

Les chiffres indiquent un bon comportement encore à 500°, ce qui est évidemment dû à la grande épaisseur du béton.

Résumé.—1. Résistance.—La résistance du béton se maintient bien, aussi à des températures élevées; seulement à 1150° elle descend au-dessous de 2 kgs par cm².

2. Influence du liant.—Les ciments contenant du laitier de haut-fourneau se comportent plus favorablement que les ciments Portland purs, puisqu'ils accusent, au chauffage à 300°, des augmentations des résistances du béton.

3. *Influence de la durée du chauffage.*—Déjà après deux heures de chauffage le maximum de l'influence est généralement atteint.

4. *Influence de la nature des matières additionnelles.*—Les matières quartzeuses influent le plus défavorablement sur les résistances, et notamment le granit fait baisser rapidement la résistance, tandis que le calcaire se comporte favorablement, surtout aux températures inférieures à 700°. Le laitier de haut-fourneau en morceaux se comporte plus favorablement que la pierre naturelle.

5. *Influence de la nature du refroidissement.*—Le refroidissement subit par immersion dans l'eau fait diminuer fortement les résistances, même dans le cas où le béton n'a été chauffé que jusqu'à 300°. Pour le béton refroidi à l'eau, les résistances s'élèvent à :

à 300° : 30-50%,

à 500° : 10-30%,

dont il résulte que les chiffres absolus obtenus à 500° sont naturellement inférieurs à ceux obtenus à 300°.

6. *Influence des grosseurs des grains.*—Un faible excédent de grains fins représente un avantage.

7. *Influence de la hauteur de la température.*—Cette influence ressort du Tableau 7 (page 441).

Conclusions pour la pratique.—Pour les constructions qui doivent résister à des températures élevées, il est préférable d'employer du ciment pouzzolanique additionné de laitier compact de haut-fourneau. Aux températures jusqu'à 500° le calcaire pourra convenablement servir de matière additionnelle. Dans tous les cas, l'emploi des matières quartzeuses doit être évité.

Einfuhr von Zement in das Vereinigte Königreich.

VOM 17. März 1930 an muss sämtlicher in das Vereinigte Königreich eingeführter Portlandzement mit dem Namen des Ursprungslandes kenntlich gemacht sein. Die gesetzliche Verordnung des für eingeführten Zement zuständigen Handelsministeriums lautet wie folgt: „Es ist ungesetzlich vom 17. März 1930 an, im Vereinigten Königreich eingeführten Portlandzement zu verkaufen oder zu Verkauf zu stellen, wenn er nicht eine Herkunftsbezeichnung trägt.

„Die Ursprungsbezeichnung soll auf jedem Sack, Fass oder sonstigem Behältnis, in dem Portlandzement verkauft oder zum Verkauf gestellt wird, gedruckt oder gestempelt, schabloniert oder anderweitig gemalt oder gebrannt sein.

„Materialien, auf welche dieser Teil dieser Verordnung zutrifft, sollen beim zum Verkauf stellen die, in dieser Beziehung vorgesehene Ursprungsbezeichnung dann nur tragen, wenn die, die Materialien zum Verkauf stellende Person kein Grosshändler ist.

„Es ist nach dieser Verordnung nicht erforderlich, dass die Materialien, für welche dieser Teil der Verordnung zutrifft, zur Zeit der Einfuhr eine Ursprungsbezeichnung tragen.“

C E M E N T

AND

CEMENT MANUFACTURE

DIE INTERNATIONALE ZEMENTZEITSCHRIFT IN VIER SPRACHEN.

DEUTSCHER TEIL

VERLEGT BEI CONCRETE PUBLICATIONS, LIMITED,

20, DARTMOUTH STREET, WESTMINSTER, LONDON, S.W.1, ENGLAND.

Erscheint am 20 jeden Monats. Preis 2 Shilling das Heft. Postfreier Jahresbezug 24 Shilling.

Kraftübertragung in Zementfabriken.

von W. GOODYEAR, M.I.Mech.E.

Die Herstellung von Portlandzement verbraucht eine grosse Menge von Kraft, wobei der Verbrauch zwischen 60 und 120 Kilowatt-Stunden pro fabrizierter Tonne schwankt; die effektive Menge hängt indessen besonder von der Art des Rohmaterials und der Mahlfeinheit des Enderzeugnisses ab. Höhere Werte, selbst bis zu 160 Kilowatt-Stunden per Tonne, sind festgestellt worden; sie sind indessen anormal.

Ein grosser Teil der Kraft wird beim Mahlen der Rohmaterialien und des Enderzeugnisses absorbiert, doch wächst der Verbrauch in den anderen Abteilungen fortgesetzt infolge der Einführung, Handarbeit sparender Maschinen. An den meisten Plätzen ist jetzt elektrische Kraft billig zu haben und mit der Einführung des Antriebs von Maschineneinheiten durch elektrische Motore wird die Tendenz zum Verbrauch von elektrischem Strom gesteigert. Diese Faktoren tragen auch dazu bei, den rein mechanischen Antrieb auszuschalten, indem die Motore mehr oder minder direkt mit den verschiedenen Maschinen gekuppelt werden. Da jedoch nur Ventilatoren und ähnliche, mit hoher Tourenzahl laufende Maschinen ohne Verwendung eines Reduktions- oder Transmissionsgetriebes direkt mit den Motoren gekuppelt werden können, ist der Gegenstand dieser Abhandlung von beträchtlichem Interesse.

So lange wie die fabrizierenden Werke klein waren, sagen wir etwa per Werk wöchentlich 1000 t erzeugten, war es üblich, alle, Kraft konsumierenden Maschineneinheiten um zwei oder drei, Kraft erzeugende Einheiten zu gruppieren. Dieses Verfahren führte zu gedrängt angeordneten Fabriken und gut wirksamer Kraftübertragung. Mit dem Aufkommen der elektrischen Kraft wurde die Uebertragung einfacher und grössere Bequemlichkeiten standen zur Verfügung, um die Fabriken auszubreiten und bessere Gruppierungen sowie Anordnungen zu erreichen. Bei elektrischer Ausrüstung war die Kraftübertragung leichter anzuordnen und gleichzeitig wurden die Werke grösser.

Bei langsam laufenden Maschinen vom liegenden Typ wurde eine mechanisch wirksame Ausnutzung von 90 oder 92% erreicht, wobei der Hauptantrieb im allgemeinen durch Seile vom Schwungrad auf eine Riemenscheibe auf der Maschinenwelle bewirkt wurde. Bei schnell laufenden Maschinen vom Vertikal-Typ, die Druckschmierung besitzen, wurde eine mechanisch wirksame Ausnutzung von 92 oder 93% bei vollem Lauf erreicht, doch erwies es sich nicht so leicht, Kraft von der schnell laufenden auf eine langsam laufende Maschine zu übertragen.

Die übliche Methode der Kraftübertragung in jedem Industriezweige besteht in der durch Seil, Treibriemen, Kette, Getriebe oder Elektrizität. Mit sehr wenigen Ausnahmen wird für jede Maschineneinheit ein Seil-, Riemen-, Ketten- oder Zahnradantrieb nötig. Unter gewissen Bedingungen und bei Sonderfällen ist direkter elektrischer Antrieb möglich.

Seile und Treibriemen werden gemeinhin bei hoher Geschwindigkeit verwendet. Sie bilden ein elastisches Antriebselement, doch können sie nur zum Trieb von Maschinen mit konstanter Drehungszahl in befriedigender Weise benutzt werden. Ist die Tourenzahl nicht gleichbleibend, dann sollten die Maschinen mit einem Schwungrad oder mit einer Vorrichtung, die einen Schwungradeffekt ergibt, ausgerüstet werden. Seil oder Riemen eignen sich nicht für ruck- und stossweise sowie schnell wechselnd erfolgende Belastungen, wenn kein Schwungrad oder ein Aequivalent von diesem vorhanden sind.

Seil-Triebe.—Seile zur Kraftübertragung sollten aus Baumwolle sein. Hanf und Manila-Hanf werden in Notfällen gelegentlich verwendet, doch ist ihr Wert aus Gründen der Lebensdauer und eines reibungslosen Laufs beträchtlich niedriger als der von Baumwollseilen. Baumwollseile werden entweder aus drei oder vier Strängen, mit oder ohne Strangspannung, hergestellt und obwohl beide Arten ihre treuen Verfechter besitzen, ist es wahrscheinlich, dass jede gleichermassen angewendete Art beim Arbeiten unter gleichen Bedingungen und bei gleicher Wartung eine ähnlich lange Lebensdauer besitzt und sich gleicherweise rationell erweist.

Um vernünftige Arbeitsbedingungen sicher zu stellen, sollte zwischen dem Seildurchmesser und dem Riemenscheibendurchmesser, auf dem das Seil läuft, ein bestimmtes Minimalverhältnis bestehen. Die meisten Seilfabrikanten haben einen Wert von 30 als passend genormt; das heisst, der Durchmesser der Scheibe ist 30 mal so gross wie der Durchmesser des Seils. Die Erfahrung lehrt indessen, dass dieses Verhältnis um einige Punkte reduziert werden kann im Falle von Seilen mit kleinem Durchmesser, und dass es vorteilhaft um einige Punkte im Falle eines grossen Seildurchmessers erhöht werden kann. Das heisst mit anderen Worten, dass ein Seil von 10 mm Durchmesser gleich gut auf einer Scheibe von 33 oder 35 cm Durchmesser anstatt auf einer solchen von 40 cm Durchmesser laufen wird, doch wird ein Seil von 5 cm Durchmesser bessere Dienste leisten, wenn es auf einer Scheibe von, sagen wir 165 oder 177 cm läuft anstatt auf einer solchen von Normenmass mit 152 cm Durchmesser.

Die gebräuchlichste und wahrscheinlich rationellste Seilgeschwindigkeit beträgt 1400 bis 1500 Meter in der Minute. Sind beide Scheiben gross, so kann sie sicher auf 1800 und sogar auf 2000 Meter in der Minute gesteigert werden. Die Bedingungen müssen indessen für die Seile günstige sein, wenn sie mit solchen Geschwindigkeiten laufen. Wenn Seile mit hohen Geschwindigkeiten auf Scheiben mit kleinem Durchmesser laufen, so reduziert die Zentrifugalkraft des Seils, wenn dieses mit der kleinen Scheibe in Berührung kommt, den Auflagerbogen derart, dass Gleiten und abnorme Abnutzung resultieren; es kann sich sogar als unmöglich erweisen, die beabsichtigte Kraft zu übertragen, wenn

nicht die Seile abnorm fest gespannt sind. Wenn irgendwie möglich, sollte das enge Anliegen des Seils (Trieb) auf der Unterseite so vorgesehen werden, dass jede Lockerung infolge Dehnung den Auflagerbogen vergrößert. Ist die lockere Seite unten, so würde der Auflagerbogen verkleinert werden.

Das Profil der Rillen auf den Scheiben und der tatsächliche Durchmesser der verschiedenen Rillen sind sehr bedeutende Faktoren für die Lebensdauer eines Triebseils. Wenn die Rillen genau das gleiche Profil haben, wird das Seil allmählich nach diesem Profil geformt werden. Ist das Profil der Rillen auf einer Scheibe von dem auf der anderen verschieden, so werden die Seile jedes Mal umgeformt werden, wenn sie mit den einzelnen Scheiben in Berührung kommen. Es kann auf die Herstellung der Rillen der Seilscheiben nicht genügend Wert gelegt werden.

Die kraftübertragende Leistungsfähigkeit von Seilen mit einer Geschwindigkeit von 1460 m in der Minute geht aus Tabelle 1 hervor. Bei jeder unter 1460 m in der Minute liegenden Geschwindigkeit wird die kraftübertragende Leistungsfähigkeit im gleichen Verhältnis reduziert. Bei etwas höherer Geschwindigkeit wird die kraftübertragende Leistungsfähigkeit jedes Seils wahrscheinlich in etwas vermehrter Masse fallen; sie wird vermutlich sehr stark zurückgehen bei Geschwindigkeiten von 1800 bis 2000 m in der Minute. Das Mass des Rückganges wird hauptsächlich durch den Durchmesser der kleinsten Scheibe bestimmt.

TABELLE 1.

Kraftübertragende Leistungsfähigkeit von Baumwoll-Seilen, die mit einer Geschwindigkeit von 1460 m in der Minute laufen.

Innerer Durchmesser										
des Seils	1.25	2	2.50	3.10	3.75	4.45	5.0	5.75	6.50	
Pferdekraft per Seil	4.0	8.8	15.5	24.0	35.0	47	62	80	95	

Der Seilantrieb ist eine sehr bequeme und wirksame Methode der Kraftübertragung von einer Welle auf eine andere mittels Rädern von grossem Durchmesser bei verhältnismässig niedriger Wellengeschwindigkeit. Da es nicht praktisch ist, Seile zu kreuzen, laufen beide Wellen in gleicher Richtung.

Die Distanz der Mittelpunkte der beiden Wellen ist eine Bequemlichkeitsfrage oder, aber eine Frage der räumlichen Bedingungen. Ist die Distanz der Wellenmitten klein, so können atmosphärische Verhältnisse das Seil beeinflussen und feuchte Luft kann in Verbindung mit ständiger Schädigung ausserordentliches Schrumpfen verursachen. Wenn andererseits die Mitten zu weit von einander entfernt sind, so können Schäden durch zu starkes Sacken des Seils eintreten; überdies können die Seile die Neigung haben, zu schwingen und damit Kämme notwendig machen. Eine gute praktisch erprobte Entfernung der Wellenmittelpunkte dürfte das $2\frac{1}{2}$ -fache der addierten Durchmesser beider Scheiben sein.

Es besteht praktisch keine Grenze hinsichtlich der Grösse der Kraft, die durch einen Satz von Seilen übertragen werden kann. Es ist leicht möglich auf diese Weise, in wirksamer Art sehr grosse Kraftmengen zu übertragen; der Lauf würde reibungslos, das Geschwindigkeitsverhältnis praktisch konstant und die Abnutzung sehr gering sein. Eine Prüfung zur Verfügung stehender Zahlenwerte zeigt, dass es möglich ist per Zoll Breite der Scheiben beträchtlich mehr Kraft zu übertragen mit Seilen von grossem Durchmesser als mit Seilen von kleinem Durchmesser. Bei Hauptscheiben von 2.5 m Breite und einer Seilgeschwindigkeit von 1460 m in der Minute würde es möglich sein, unter gewissen Bedingungen 2000 PS zu übertragen bei Verwendung von 5 cm

starken Seilen; es würde indessen bei gleicher Breite und unter ähnlichen Bedingungen nur möglich sein, 1000 PS zu übertragen, wenn 2.5 cm starke Seile verwendet werden. Die Begrenzung der Seilgeschwindigkeit und ein Verhältnis von 30 zu 1 vom Scheiben-zum Seildurchmesser bestimmen automatisch die höchste Geschwindigkeit, bei der jede seilgetriebene Welle laufen kann. Bei Seildurchmessern von 2.5 und 5 cm betragen die höchsten Geschwindigkeiten 305 bzw. 155 Umdrehungen. Dieses Prinzip ist erweitert und tabellarisiert worden für alle üblichen Seilgrößen in der Uebersicht Nr. 2.

Innerer

TABELLE 2.

Seildurchmesser	1.25	2.0	2.50	3.0	3.75	4.5	5.0	5.75	6.5
Höchste Geschwindigkeit der Welle in									
Touren pro Minute	610	420	305	245	205	178	155	135	120

Riemen-Antriebe.—Wenn wir zu Riemenantrieben übergehen, so möge zunächst bemerkt werden, dass der Riemenantrieb gegenüber dem Seiltrieb eine sekundäre Rolle spielt. Allerdings werden gelegentlich Haupttriebe durch Riemen bewirkt, doch ist dieses eher eine Ausnahme als eine Regel. Auch Stahlbänder werden gelegentlich für Hauptantriebe benutzt, doch hat sich dieses Verfahren noch nicht allgemein durchgesetzt. Riemen oder Stahlbänder sind sehr bequeme und nützliche Mittel, um als einfache oder sekundäre Antriebe Verwendung zu finden; dort wo der Kraftbedarf gering ist, kann ein Riemenantrieb billig eingebaut werden. Viele der in Verbindung mit den Seil-Antrieben benutzten Regeln können vorteilhaft auch für Riemenantriebe benutzt werden.

Um bei der Geschwindigkeit zu beginnen, so sind 1200 bis 1400 m in der Minute eine rationelle Geschwindigkeit und völlig passend für Hauptantriebe, vorausgesetzt, dass der Durchmesser der Riemenscheiben gross und die auf den Riemen wirkende Zentrifugalkraft klein ist. Im Falle sekundär wichtiger Antriebe kann die Geschwindigkeit vorteilhaft auf 600 bis 750 m in der Minute herunter gedrosselt werden, und für weniger bedeutende Antriebe kann sie noch niedriger gehalten werden; in Fällen, wo es erforderlich ist, die Geschwindigkeit von Hand zu ändern, muss die Geschwindigkeit sehr niedrig gehalten werden.

Bei Betrachtung der Stärke der Riemen ist das Verhältnis der Riemenstärke zum Durchmesser der Scheibe, über die er läuft, eine ebenso wichtiger Faktor wie im Falle der Seil-Antriebe. Für den Fall der Seile und Scheiben ist der Faktor von 30 zu 1 bereits erwähnt worden; im Falle der Riemen dürfte ein Verhältnis von 1:40 oder selbst zu 48 einen passenden Wert darstellen.

Bei Anlage eines Riemenantriebes sollten in folgender Reihe die einzelnen Faktoren in Betracht gezogen werden: (1) Grösse der zu übertragenden Kraft, (2) höchste rationelle oder bequeme Geschwindigkeit, (3) Fläche des Riemenquerschnitts, (4) Breite des Riemens im Verhältnis zu seiner Stärke, und dieses Verhältnis muss wiederum in Beziehung zum Scheibendurchmesser gebracht werden und ausserdem muss in Betracht gezogen werden, ob der Riemen offen oder über Kreuz laufen soll.

Die Grösse der kleinsten Scheibe bei einem Riemenantrieb hat einen bedeutenden Einfluss auf die Grösse der Kraft, welche übertragen werden kann. Der Scheibendurchmesser kann so klein sein, und die Riemengeschwindigkeit so gross, dass der Riemen die Scheibe beim Passieren dieser sie kaum berührt. Die Kurve in Abb. 1 (Seite 404) ist ausgezogen worden, um die Bedeutung des Scheibendurchmessers im Verhältnis zur Kraftübertragung zu zeigen; diese Erkenntnis ist durch Angaben von vielen Trieben kontrolliert worden und kann als zuverlässig gelten.

Die Wirksamkeit eines Seil-Antriebes kann bis zu 98% betragen, vorausgesetzt, dass alle Bedingungen, wie Seilgeschwindigkeit im Verhältnis zum kleinsten Scheibendurchmesser, Lagermittelpunkte, enganliegendes Seil, Profil der Rillen, Seispannung usw.-günstig sind. Das Mass, in dem die Wirksamkeit unter 98% herunter geht, hängt davon ab, welchen Einfluss jeder dieser Faktoren ausübt.

Die Wirksamkeit eines Riemenantriebs hängt ab von: (1) der Stärke des Riemens im Verhältnis zum Durchmesser der kleinsten Scheibe, (2) der Riemen geschwindigkeit im Verhältnis zu dem Durchmesser der kleinsten Scheibe, (3) dem Auflagerbogen auf der kleinsten Scheibe, (4) der Gesamtspannung auf beiden Riemen seiten und (5) der Beschaffenheit der Scheibenoberflächen. Die höchstmögliche Wirksamkeit kann 98% betragen; hinsichtlich des niedrigsten Wirkungsgrades kann kein fester Wert angegeben werden. Die in Zementfabriken oft herrschende staubige Luft macht es sehr schwierig, eine gute Riemenoberfläche zu erhalten.

An dieser Stelle mag auf den Lennix-Antrieb verwiesen werden. Die Anordnung dieses Antriebs zeigt in Diagrammform Abb. 2 (siehe Seite 405). Bei dem Lennix-Trieb wird der natürliche Auflagerbogen des Riemens an der kleinsten Scheibe vergrössert durch Anwendung einer Spannrolle an der schlaffen Seite des Riemens, und zwar entweder dort, wo dieser die Trieb scheibe berührt oder wo er die getriebene Scheibe verlässt, je nachdem, welche die kleinere ist. Das tatsächliche Gewicht oder der durch die Spannrolle ausgeübte Druck kann so zur Wirkung gebracht werden, dass der Druck des Riemens auf die Trieb scheibe und die Triebspannung automatisch sich auf jede Aenderung des Drucks oder der übertragenen Kraft einstellen. Wenn alle sonstigen Verhältnisse zweckentsprechend sind, so sollte diese automatische Vorrichtung höchsten Wirkungsgrad gewährleisten. Es liegen jedoch noch keine tatsächlichen Werte vor. Der Lennix-Trieb ermöglicht es, Treibriemen dann besonders wirkungsvoll zu trieben, wenn die Scheibenmittelpunkte nahe bei einander liegen und beträchtliche Durchmesser differenz aufweisen. Ein Geschwindigkeitsverhältnis von 8:1 oder von selbst 10:1 bei nahe liegenden Mittelpunkten ist mittels Anwendung eines Lennix-Triebes möglich, ein Charakteristikum, das diese besondere Form des Triebes unter vielen Bedingungen sehr wertvoll macht.

Die Lagerbeanspruchung bei Riemenantrieb wird ähnlich resp. möglicherweise etwas grösser als beim Seil-Antrieb sein, weshalb die Ausführung und die Grösse der Lager entsprechend vorgesehen werden sollte. Ausser der reinen Spannung, die zur Kraftübertragung nötig ist, ist weiterer Druck erforderlich, um bei Riemenverwendung Gleiten zu vermeiden.

Ketten-Antriebe.—Kettenantriebe sind in neuerer Zeit allgemeiner zur Anwendung gekommen, und es braucht wohl kaum erwähnt zu werden, dass die bestimmenden Faktoren in Verbindung mit Kettenantrieb den beim Seil- und Riemenantrieben herrschenden entgegengesetzt sind. Beim Seil- und Riemenantrieben haben wir es mit verhältnismässig leichten Seilen oder Bändern zu tun, die geringe Kraftmengen mit hoher Geschwindigkeit übertragen; beim Kettenantrieben handelt es sich um schwere Ketten, die grosse Kräfte bei verhältnismässig niedriger Geschwindigkeit übertragen. Die Erfahrungen, die daher mit dem einen Trieb-Typ gesammelt sind, geben nicht den geringsten Anhalt für einen anderen, weil dieser völlig verschiedenes Prinzip befolgt.

Es bestehen zwei grundsätzlich unterschiedene Typen des Kettenantriebs. Der eine ist der alte, primitive Typ mit grossen Gliederketten, wie sie für Förderbänder, Elevatoren und ähnliche Zwecke benutzt werden, deren Gelenke gewöhnlich aus Gusseisen (geschmiedet) sind, und bei denen die

aufgelegte Kette Kettenräder aus Gusseisen mit gehärteten Zähnen oder aus Manganstahl passiert. Dieser Ketten-Typ hat sich bewährt und wird wahrscheinlich auch weiter gute Dienste leisten. Die Geschwindigkeit und die Spannkraft indessen müssen verhältnismässig niedrig gehalten werden. Die Prospekte der Fabrikanten setzen als Höchstgeschwindigkeit für diese Art Ketten gewöhnlich 300 bis 360 m in der Minute fest, doch müssen die Bedingungen sehr günstige sein, wenn die Ketten mit dieser Geschwindigkeit laufen. Der Druck muss selbstverständlich gleichförmig gehalten werden und bedenkliches ruckweises Arbeiten wie das Risiko von Hemmungen darf nicht vorhanden sein; wenn solches vorkommt, wird die Kette vermutlich brechen. Diese Art van Kette ist sehr bequem und für viele Zwecke gut verwendbar, doch kann man sie nicht als ein kraftübertragendes Element für grosse Kraftmengen ansehen.

Der andere Kettentyp ist von durchweg besserer Bauart; die Konstruktion ist vollkommen anders. Der Gliederabstand ist viel kleiner und gleichmässig, er ist mit präziser Genauigkeit konstruiert und stellt einen tatsächlich erstklassigen Mechanismus dar. Die Zähne der Räder, welche die Kette fassen, sind maschinell ausgeschnitten unter Einhaltung akkurater Grenzen. Diese Kette eignet sich zur Uebertragung grosser Kraftmengen bei verhältnismässig hohen Umdrehungsgeschwindigkeiten; vorausgesetzt, dass die sonstigen Bedingungen gute sind, kann sie mit Geschwindigkeiten bis zu 600 m in der Minute und selbst noch grösseren bei besonderen Verhältnissen laufen.

Diese Kettenart wird für sehr viele Zwecke in der Maschinenwerkzeug- und Holzbearbeitungsindustrie verwendet; unter gewissen Bedingungen sind verschiedene Sätze in dem gleichen Getriebekasten zur Erzielung von Antrieben mit verstellbarer Geschwindigkeit vorhanden. In der Zementindustrie können Ketten dieser Art als geschwindigkeitssteigerndes Element von einer langsam laufenden auf eine schneller laufende Welle oder von einer schneller laufenden auf eine langsamer laufende Welle benutzt werden. Der Trieb kann an jedem Paar von Wellen mit nahen Zentren angebracht werden; die Entfernung kann selbst so kurz sein, dass die Köpfe der Zähne gerade klar aneinander vorbeilaufen. Die Wellenlager müssen sehr stabil konstruiert sein. Die Lager sollten sich in unmittelbarer Nähe der Räder befinden. Die Ketten und die Räder sollten, wenn irgend möglich, sich in einem öldichten Behältnis befinden und ein verlässliches Schmiersystem sollte vorgesehen werden.

Stirnrad-Getriebe.—Die Kraftübertragung durch Stirnrad-Getriebe ist ebenfalls allgemein gebräuchlich. Es ist eine der ältesten Formen der Kraftübertragung, und der Antrieb von Elevatoren, Förderbändern, allen Mühlenarten, Trocknern, Öfen, Kühlern usw. wird gewöhnlich durch diesen Typ des Getriebes bewirkt. Ursprünglich wurden Stirnrad-Getriebe aus vollständigen Modellen gegossen, oder sie wurden aus Teilmodellen geformt mittels einer Formmaschine, doch besitzen beide Methoden ihre Nachteile, und diese Nachteile begrenzen die Höhe der übertragbaren Kraft oder die Geschwindigkeit, mit der die Räder laufen können.

Um höhere Betriebsgeschwindigkeiten und ruhigeren Lauf unter gewissen Bedingungen für bestimmte Zwecke zu erhalten, fasst gewöhnlich ein Gusseisenrad mit aufgesetzten Zähnen in die Holzzähne (Keilzähne) eines anderen Rades. Räderpaare dieser Art konnten hergestellt werden, um bis zu 100 PS zu übertragen; die Teilkreis-Geschwindigkeit konnte gross sein, doch musste der gegenseitige Zahn-Druck niedrig gehalten werden; die hölzernen Zähne mussten nichtsdestoweniger häufig erneuert werden. Der Vorteil dieser

Art Getriebe war der eines ruhigen Laufs und der weniger grossen Wichtigkeit der Schmierung.

Hierauf wurden Gusstahlgetriebe, aus Formkästen und Maschinenformen entformt, eingeführt. Zahnräder aus diesem Metall brachen selten aus, doch nutzten sie sich häufig schnell ab infolge ungenügender Schmierung; sie waren überdies sehr laut. Eine grosse Verbesserung wurde bewirkt, als maschinell gefräste Zähne zur Einführung gelangten.

Wegen der Ungenauigkeit der Zähne ist es nicht ratsam, aus Formen hergestellte, gusseiserne Getriebe mit grösseren Geschwindigkeiten als 500 oder 550 m in der Minute laufen zu lassen, und selbst unter diesen Bedingungen kann es sich als notwendig erweisen, den Druck der Zähne gegeneinander niedrig zu halten. Wenn die Geschwindigkeit oder der Druck zu hoch sind, so wird der durch mangelnde Präzision hervorgerufene Stoss Bruch der Zähne auslösen. Wird das Gusseisen durch Gusstahl ersetzt, so fällt der Bruch fort, doch wird der Lärm vermehrt. Lärm ist keine ernsthaft bedenkliche Angelegenheit, doch ist der Lärm ein Zeichen für Stösse, Geschwindigkeitszuwachs wie-abfall bei ausserordentlichem Verschleiss und sollte daher als solcher reduziert oder völlig ausgeschaltet werden. Jede mögliche Sorgfalt muss angewendet werden, um präzise Arbeit der Glieder zu erreichen.

Eine ungeheure Verbesserung der Betriebsverhältnisse wurde durch Einführung der maschinell gefrästen Zähne bewirkt. Diese Verbesserung ermöglichte höhere Geschwindigkeit und grösseren, gegenseitigen Druck der Zähne; sie schaffte ruhigeren Lauf und ermöglichte die Anwendung wirksamer Schmierung. Die verbesserten Bedingungen verlangten sorgfältigere Montage und peinlichere Wartung. Die Kosten der Montage sind notwendigerweise höher, aber es kann mehr Kraft übertragen werden, die Lebensdauer ist grösser und die wirtschaftliche Ausnutzung besser. Bezeichnende aber tatsächliche Werte, wie sie aus einem alten sehr verbreiteten Typ eines aus Gusseisen geformten Mühlengetriebes erhalten wurden, sind im Folgenden angeführt und mit ähnlichen Werten von einem verhältnismässig neuen Mühlttyp, der mit maschinell gefrästen Stahlgetriebe ausgestattet ist, verglichen. Sie zeigen den gemachten Fortschritt und das an, was bei Getriebewahl und Betriebsführung erreicht werden kann. Die alte Mühle wurde durch einen gusseisernen Stirnkranz mit 100 Zähnen von 7.24 cm Abstand, 25.4 cm Breite und 26 Umdrehungen in der Minute getrieben und verbrauchte 100 effektive Pferdestärken. Die Teilkreis-Geschwindigkeit betrug 190 m in der Minute und der Zahndruck 95 kg/cm Breite. Die neue Mühle wird durch ein Gusstahlrad mit 139 Zähnen von 8.76 cm Abstand und 31.6 cm Breite getrieben; sie macht 24.5 Umdrehungen in der Minute und verbraucht 750 effektive Pferdestärken. Die Teilkreis-Geschwindigkeit beträgt beinahe 300 m in der Minute und der Zahndruck 360 kg/cm Breite. Das alte Getriebe war offen gebaut und wurde nur gelegentlich mit Fett geschmiert; das andere Getriebe ist vollkommen gekapselt und läuft in einem Ölbad. Die Lebensdauer des letzteren Getriebes verspricht beträchtlich grösser zu werden als die des ersteren, trotzdem die Bedingungen von Druck und Geschwindigkeit wesentlich schwerere sind.

Ofen-Zahnradgetriebe.—Besondere Berücksichtigung mögen die Zahnradgetriebe des Ofens finden. Diese Getriebe sind ausschliesslich aus Gusstahl, der Druck der Zähne aufeinander ist bei den ersten Paaren einigermassen niedrig doch kann er beim letzten Zahnpaar 700—900 kg/cm Breite erreichen; die Geschwindigkeit ist sehr gering.

Diese Getriebe sind gewöhnlich nach Modellen oder maschinellen Formen angefertigt und zwar werden meist drei oder vier Getriebepaare verwendet. Wenn man für jedes Getriebepaar einen Wirkungsgrad von 87,5% annimmt, wird die mögliche Ausnutzung jedes Getriebes mit Welle 85% und der allgemeine Wirkungsgrad 50% betragen; die Ausnutzung ist grösser, wenn die Getriebe eine gute Form haben und nur ein geringer Verschleiss stattgefunden hat. Wenn maschinell gefräste Getriebe von Anfang an einmontiert wären, so würden die entsprechenden Werte 97%, 94,5% und 79% betragen können.

Antrieb durch elektrische Kraft.—Der Antrieb durch elektrische Kraft wird allgemein üblich, und die Art der Kraftverteilung beginnt sich auf völlig verschiedenener Grundlage zu entwickeln. Ursprünglich waren die Fabrikationsmaschinen um die Kraft erzeugende Maschineneinheit gruppiert und zwar oft zum Nachteil der ersteren. Der elektrische Antrieb macht es möglich, die Fabrikationsmaschinen in der bestmöglichen Lage für ihre entsprechenden Aufgaben zu plazieren.

Durch den Bezug der elektrischen Kraft im Ganzen ist Wechselstrom allgemein üblich geworden, und die Type des Motors verlangt nunmehr sorgfältige Auswahl. Es sei festgestellt, dass hochtourige Kurzschluss-Motore sehr beliebt werden für Stärken bis zu 20 PS, vorausgesetzt, dass der zum Anlassen benötigte Strom nicht zu stark ist für die Lieferquelle. Schleifringmaschinen werden für grössere Stärken eingebaut und dann, wenn Anlasstourenzahl und Geschwindigkeiten geschaltet werden müssen. Bei Gleichstrom sind sowohl Geschwindigkeit wie Schaltung leichter bewirkbar; es können jedoch gegen die Verwendung von Gleichstrom-Maschinen Bedenken bestehen.

Elektrische Motore sind zumeist Maschinen von hoher Tourenzahl, und in den meisten Fällen ist es notwendig, zwischen Motor und zu treibende Maschine eine Art von Drosselungsvorrichtung einzuschalten. Ist die Reduzierung gering, sagen wir von 6 bis auf 1, so kann ein Stirnradgetriebe benutzt werden; wenn die Drosselung, sagen wir, zwischen 10:1 bis 30:1 liegt, so muss ein Doppel-Stirnradgetriebe oder eine Schneckenradgetriebe verwendet werden. Diese Drosselungsvorrichtungen können bequem und leicht eingebaut werden; sie können in jeder gewünschten Stellung plziert und ihre Schalter können, fern vom Motor, an jeder verlangten Stelle gruppiert werden.

Unter gewissen Bedingungen kann es sich als wünschenswert erweisen, den Motor direkt durch eine Gelenkkupplung mit der zu treibenden Maschine zu verbinden; geschieht dieses, so können für Ventilatoren, Gebläse, Zentrifugalpumpen usw. Motore mit hoher Tourenzahl verwendet werden. Weniger schnell oder langsam laufende Motore können ebenfalls in gleicher Weise mit der Gegenwelle von Kugelmühlen, Rohrmühlen usw. gekuppelt und so ein besonderes Zahnradgetriebe ganz gespart werden; es soll jedoch bemerkt werden, dass der Wirkungsgrad eines langsam laufenden Motors niedriger als der eines schnell laufenden, und dass der Kraftkoeffizient beträchtlich klein ist. Wenn der Motor eine beträchtliche Stärke besitzt und es die Betriebsbedingungen rechtfertigen, sollte die Maschine vom Auto-Synchrontyp sein, der es möglich macht, den Kraftkoeffizienten auf jede gewünschte Weise zu steigern.

Eine andere Methode würde darin bestehen, einen gedrosselten Motor zu verwenden, und zwar einen schnell laufenden mit einfachem, doppeltem oder sogar dreifachem Reduktionsgetriebe im gleichen Gehäuse ausgerüsteten Motor,

der bei der gewünschten Geschwindigkeit mit der langsam laufenden Welle arbeitet. Diese Typen sind drauf und dran, auf dem Kontinent sehr populär zu werden. Die arbeitenden Teile des Getriebes sind aus legiertem, gehärtetem Stahl hergestellt. Die Lager sind vom Kugel- und Walzentyp. Die Maschine ist als solche ein hochwertiges Antriebsselement mit einem allgemeinen Wirkungsgrad, —elektrisch wie mechanisch—, von 90 bis 92% und einer Geschwindigkeits-Drosselung von 1500 Touren in der Minute herunter bis zu jedem gewünschtem Wert, herab bis zu 20 Touren in der Minute.

Allgemeines.—Bei der Wahl dieser verschiedenen Möglichkeiten erhebt sich die natürliche Frage: „Welche ist die wahrscheinlich beste und wirksamste?“ Die Lage oder der Zweck bestimmen gewöhnlich den Typ des zu verwendenden Antriebs oder Zahnradgetriebes, obwohl gewöhnlich Auswahl möglich ist. Der Wirkungsgrad darf nicht aus den Augen gelassen werden; zu grosse Bedeutung sollte jedoch der Erreichung eines hohen Wertes nicht beigegeben werden, da ein hoher Wirkungsgrad sich nicht immer als rationell erweist. Der Wirkungsgrad von Seil- und Riemenantrieben ist behandelt worden, und es erscheint möglich einen Wert bis zu 98% bei voller Geschwindigkeit mit gutem Lauf und unter günstigen Bedingungen zu erreichen.

Bei Betrachtung der Möglichkeiten von Kettenantrieben muss ein Trennungsstrich gezogen werden zwischen hochwertigen und primitiven Trieben. Antriebe, die durch erstklassige Präzisionsketten mit maschinell gefrästen, vollkommen gekapselten, bad-geschmierten Zähnen bewirkt werden, würden einen Wirkungsgrad gleicher Grössenordnung, nämlich 98%, wie ein einfaches Paar maschinell geschnittener Stirnradgetriebe besitzen. Andererseits würde der Wirkungsgrad einer gehämmerten Eisengelenkkette, die in die raue Oberfläche der Zähne eines Gusseisenrades fasst, besonders dann sehr niedrig sein, wenn dies neu ist; die letztere Kette ist mehr eine Angelegenheit der Zweckmässigkeit als die einer wirksamen Kraftübertragung. Der Wirkungsgrad eines Stirnradgetriebes kann sehr hoch und sehr niedrig sein; er ist abhängig von dem Profil der Zähne, der Gleichförmigkeit des Zahnabstandes, der Ebenheit der berührenden Oberfläche, dem Druck auf die Zähne und von der Wirksamkeit der Schmierung. Ein hochwertiges, völlig gekapseltes, bad-geschmiertes Getriebe mit einem Geschwindigkeitsverhältnis von, sagen, wir, 5 zu 1, das unter günstigen Bedingungen arbeitet, besitzt einen Wirkungsgrad von 98 bis 98.5%. Ein doppelt oder dreifach reduziertes, völlig gekapseltes Getriebe der gleichen Güte wird unter günstigsten Bedingungen einen Wirkungsgrad von 96.5 bis 97.5, bezw. von 95 bis 96% besitzen.

Andererseits dürfte der Wirkungsgrad von modell- und maschinell geformten Getrieben sehr niedrig, wahrscheinlich um 85 bis 90% herum liegen; der Wirkungsgrad von abgenutzten und stark gerippten Getrieben dürfte von der gleichen Grössenordnung sein; unter ungünstigsten Bedingungen kann er so niedrig wie 80 oder selbst 75% liegen.

Der Wirkungsgrad eines völlig gekapselten Kegelradgetriebes kann die Grösse von 95% erreichen, obwohl keine Zahlenwerte zur Verfügung stehen; doch ist der Wirkungsgrad eines gewöhnlich angewendeten Kegelradgetriebes von gleichbleibender Niedrigkeit. Kegelrad-Antriebe sollten, wenn irgend möglich, vermieden werden.

Der Wirkungsgrad eines Schneckengetriebes hängt im allgemeinen von dem Geschwindigkeitsverhältnis (Voreilungswinkel) ab. Ist das Geschwindigkeitsverhältnis von der Grösse $7\frac{1}{2}$ zu 1, so dürfte der Wirkungsgrad 93 bis 94%

betragen; wenn er 30 zu 1 wird, so dürfte er so niedrig wie 85% sein. Eine graphische Darstellung zeigt Abb. 3 (siehe Seite 410); sie zeigt das Mass des Abfalls hinsichtlich des Wirkungsgrades von hochwertigen Schneckengetrieben. Der grosse Vorzug des Schneckengetriebes besteht darin, dass es die Geschwindigkeit in grossem Massstabe reduzieren kann und dass es ruhig läuft.

Es sollen auch die Getriebe mit regulierbaren Geschwindigkeiten erwähnt werden; diese Art von Getrieben wird oft benötigt für Oefen, Kohlenzufuhr, Schlammzufuhr, Mühlenzufuhr, Extraktionsgetriebe usw. sowie für verschiedene andere Zwecke. Dem Anschein nach existiert kein Getriebe mit regulierbarer Geschwindigkeit für schwere Beanspruchungen, das mechanisch einwandfrei ist und einen rationellen Wirkungsgrad aufweist; es sind einige Typen kleiner Getriebe von sagen wir 20 bis 25 PS vorhanden, doch sind die Schaltungen dieser nicht geeignet, um aus der Ferne bedient zu werden.

Ist Gleichstrom vorhanden, so ist es leicht möglich, alle vernunftgemässen Geschwindigkeiten zu erreichen, die durch eine obere Maximal- und untere Minimalgeschwindigkeit des Motors begrenzt sind. Die zur Erreichung dieser Regulierung vorgesehene Vorrichtung kann an jeder, vom Motor entfernt, bequem liegenden Stelle eingebaut werden. Wird Drehstrom verwendet, ist es notwendig, entweder einen Motor mit zwei Geschwindigkeiten zu benutzen oder einen Motor vom Umschalt-Typ. Der Umschalt-Drehstrommotor sieht einen beträchtlichen Spielraum für Geschwindigkeitsänderungen vor, ist jedoch bis heute eine sehr teure Maschine und zwar derart, dass sie kaum ökonomisch sein dürfte. Mit diesen Maschinen wird der Geschwindigkeitswechsel mittels Aenderung der Bürsteneinstellung erreicht; es ist möglich, diesen Wechsel von einer entfernt gelegenen Stelle vorzunehmen. Der gleiche Maschinentyp wird auch verwendet, um konstante Geschwindigkeiten zu erhalten, die weit von den Synchrongeschwindigkeiten differieren; in diesem Falle jedoch werden die Bürsten eingestellt um die verlangte Geschwindigkeit zu erhalten und dann dauernd in dieser Stellung belassen. Ein wertvolles Prinzip hinsichtlich der Getriebe mit regulierbarer Geschwindigkeit lautet: „Versuche nicht etwas auf mechanischem Wege zu erreichen, was elektrisch ausgeführt werden kann.“

Zusammenfassung.—Eine gekürzte Zusammenfassung der vorstehenden Darlegungen wird wie folgt lauten;

Seile.—Besonders geeignet für Hauptantriebe und für die Uebertragung grosser Kraftmengen von und auf langsam laufende Wellen. Baumwolle stellt das beste Material dar. Es ist unpraktisch Seile zu kreuzen. Die rationellste Geschwindigkeit ist 1460 m inⁿ der Minute. Der Wirkungsgrad beträgt bei voller Ausnutzung 97 bis 98%.

Riemen.—Besonders geeignet für sekundäre, leichte und sehr leichte Antriebe. Die Geschwindigkeit hängt ab von der Natur und dem Zweck des Antriebs. Riemen können direkt oder über Kreuz laufen. Der höchstmögliche Wirkungsgrad beträgt bei voller Belastung 97 bis 98%.

Ketten.—Eingeteilt in zwei Klassen: (1) Roh- oder Zweckantriebe, (2) hochwertige Präzisionsantriebe. Die ersteren werden nur aus Zweckgründen verwendet; Leistung und Geschwindigkeit können klein, der Wirkungsgrad sehr niedrig sein. Die zweiten können wichtigen Zwecken dienen; die Geschwindigkeit darf gross sein, ebenso die zu übertragende Kraftmenge; sie arbeiten mit nahe bei einander liegenden Wellenzentren. Der Wirkungsgrad beträgt bei voller Beanspruchung, wenn völlige Kapselung und Badschmierung vorgesehen sind, auch 97 bis 98%.

Getriebe.—Grundsätzlich unterschieden nach Stirn- und Kegelrad, Roh- und Feingetriebe. Stirnradgetriebe werden allgemein verwendet: (a) modell- und maschinell geformt für niedrige und mittlere Drucke und Geschwindigkeiten; (b) maschinell gefräste Präzisionsgetriebe für hohe Drucke und grosse Geschwindigkeiten. Höchstmöglicher Wirkungsgrad beträgt bei Maschinenfräsung und Badschmierung ebenfalls 97 bis 98%. Wegen der Schwierigkeiten der präzisen Konstruktion, des Ausrichtens und der Einhaltung der Austrichtung von Kegelradgetrieben, sind die Geschwindigkeit, Zahndruck und Leistung dieser Art Getriebe stets kleiner als die der Stirnradgetriebe; auch der Wirkungsgrad wird niedriger sein. Kegelradgetriebe sollten, wenn irgend möglich, vermieden werden.

Elektrische Kraftübertragung.—Wo Kraft billig zur Verfügung steht, sollten elektrische Antriebe nach dem Einheitssystem Verwendung finden; die Tourenzahl des Motors mit der sich ergebenden Wirkung etwa notwendig werdender Reduktion muss auf rationeller Grundlage in Erwägung gezogen werden. Der Wirkungsgrad des Motors wird 90 bis 94 oder 95% bei voller Belastung betragen. Der Wirkungsgrad des Reduktionsgetriebes geht aus den vorstehenden Angaben hervor.

Verschiedenes.—Geschwindigkeitsregulierung kann in befriedigenderer Weise auf elektrischem als auf anderem Wege erreicht werden. Gleichstrom schafft gegenwärtig die rationellste Möglichkeit für Regulierungen in verhältnismässigen Grenzen mit dem gleichzeitigen Vorteil der bequemen Schaltung von entfernter Stelle.

Heisser Zement.

von N. DAVEY, B.Sc., A.M.Inst.C.E.

(Bauforschungsabteilung, England.)

Mit dem Ausdruck „heisser Zement“ soll an dieser Stelle zum Ausdruck gebracht werden, dass der Zement bei der Berührung heiss ist. Der Zement wird durch die Reibungswärme während des Mahlens heiss und im allgemeinen wird der Zement, wenn er die Mühlen verlässt, höhere Temperaturen besitzen, je feiner er gemahlen ist.

Es kommt oft vor, dass Zement und insbesondere dass hochwertiger Zement sowie in Papiersäcken gelagerter Zement bei der Berührung merklich heiss sind, wenn sie an ihren Bestimmungsort anlangen. Es hat gelegentlich eine Unsicherheit hinsichtlich der Güte des Betons bei deren Verwendung bestanden.

Neben Versuchen, die durch die Strassenbauabteilung Tennessee, Nashville (Vereinigte Staaten von Amerika) ausgeführt wurden, und über die in den Fortschrittsberichten des amerikanischen Betoninstituts, 1929 auf Seite 434 berichtet wurde, ist wenig über diese Angelegenheit bekannt geworden. Die amerikanischen Versuche ergaben, dass, solange wie der Zement den physikalischen Anforderungen der Portlandzement-Normen der amerikanischen Gesellschaft für Materialprüfungen entsprach, die Temperatur, mit der der Zement auf der Baustelle eintraf, nicht von Bedeutung war. Es wurden keine bemerkenswerten Unterschiede in der Druck- oder Zugfestigkeit sowie in anderen charakteristischen Eigenschaften ermittelt, obgleich eine etwas verkürzte Abbindezeit festgestellt wurde.

Die Building Research Station unternahm eine Reihe von Versuchen mit einem normalen Portlandzement, der den Zementnormen der Normengesellschaft

britischer Ingenieure entsprach, und die Ergebnisse, über die hier berichtet wird, bestätigen die in Amerika erhaltenen Resultate.

Es wurden mit einem Portlandzement-Fabrikanten Vereinbarungen getroffen, nach denen Vertreter der Building Research Station dessen Werke besuchen und Zementmuster sofort nach dem Verlassen der Mühlen entnehmen konnten. Die Temperatur des Zements auf dem Förderband, das den Zement von den Mühlen zu den Lagersilos transportierte, betrug, 140°C .

Die ersten Versuche der Bestimmung der Abbindezeit und die Herstellung von Mörtelprobekörpern wurden in dem Untersuchungslaboratorium der Fabrik mit Zement, der eine halbe Stunde alt war, ausgeführt. Die Temperatur war von 140° auf 122°C gefallen, jedoch war diese Temperatur noch immer sehr viel höher als die Temperatur, die der Zement bei Erreichung seiner Bestimmungsstation wahrscheinlich besitzt. Die Ergebnisse der Normenprüfung für den auf 16°C abgekühlten Zement, zwei Tage nach dem Verlassen des Ofens, sind in Tabelle I zusammengefasst.

Unter Verwendung besonders konstruierter Aufbewahrungsbehälter und von Vakuumgefässen wurde der bei den Mühlen mit einer Temperatur von 140°C entnommene Zement nach der Building Research Station ohne merklichen Wärmeverlust geschafft. Auf diese Weise konnten die in der Fabrik ausgeführten Versuche zu verschiedenen Zeitpunkten, in dem Masse wie sich der Zement abkühlte, wiederholt werden. Die ersten Serien mit Betonversuchen wurden auf der Building Research Station mit Zement ausgeführt, der eine Temperatur von 120°C besass und weniger als vier Stunden alt war.

TABELLE 1.

Chemische Zusammensetzung.

SiO_2	...	...	...	...	22.18%
Al_2O_3	...	...	...	...	5.10%
Fe_2O_3	...	...	...	...	3.69%
TiO_2	...	...	...	...	0.69%
CaO}	...	...	...	...	63.10%
MgO}	...	...	...	...	1.51%
Na_2O}	...	...	...	...	0.42%
K_2O}	...	...	...	...	0.82%
SO_3	...	...	...	...	2.17%
Glühverlust a.d. Diff.	...	...	...	...	0.32%
					100.00%

Siebanalyse—

Rückstand auf dem 4900 Maschen/qcm—Siebe 7.26%

„ „ „ 900 „ „ „ 0.21%

Raumbeständigkeit—

Le Chatelierprobe: 9 mm Ausdehnung (nicht der Luft ausgesetzt)
2.5 mm „ (24 h der Luft ausgesetzt)

Zugfestigkeit—

Reiner Zement nach 7 Tagen 57.37 kg/qcm

Zement-Sandmörtel nach 7 Tagen 26.15 „

„ „ „ 28 „ 31.71 „

Die Abbindezeitversuche nach Tabelle 2 (Seite 416) und die Zugfestigkeitsversuche nach Tabelle 3 (Seite 417) wurden mit Zementproben ausgeführt, welche in grossen Vakuumgefässen gelagert worden waren, während der Beton aus Mustern hergestellt wurde, die in besonders angefertigten, isolierten Behältern von grösserem Fassungsvermögen gelagert waren. Der Wärmeverlust war bei den beiden Typen verschieden gross, und daher schwankte die

Temperatur zu bestimmten Zeitpunkten etwas. Zum Beispiel war die Temperatur des Zements nach 18-stündiger Lagerung in den Vakuumgefässen 65° C, während sie in den grösseren Behältern auf 30° C gefallen war.

Für die Versuche zur Bestimmung der Abbindezeit wurde der reine Zement gerade mit so viel Wasser angemacht, dass sich eine Konsistenz ergab, die durch Einsinken von 5 mm des Vicat-Kolbens charakterisiert war. Diese Konsistenz entsprach einem Auseinanderfließen von 12.7 cm auf dem Fliesstisch. War der Zement heiss, so war mehr Wasser erforderlich, um diese Konsistenz zu erhalten. Die Werte in Abbildung 1 zeigen, dass heisser Zement schneller als abgekühlter Zement abbindet, und dass sich diese Einwirkung mehr im Falle des Abbindebeginns ausprägt. Es war jedoch hinsichtlich des Abbindeendes nur ein Unterschied von einer halben Stunde zwischen dem Zement, der 120° C beim Mischen warm war und dem Zement, der 15° C warm war, vorhanden. Diese Differenz kann man als unbedeutend ansehen.

In der Abb. 1 (Seite 414) zeigen die Werte auf der Vertikalen die Abbindezeiten des heissen Zements in Stunden an, während auf der Horizontalen das Alter des Zements von einer halben Stunde bis zu 20 Tagen aufgetragen ist. Bei Abb. 2 (Seite 415) bedeuten die Werte auf der Vertikalen die Zugfestigkeiten von Zement-Sand-Probekörpern aus heissem Zement in Pfund/Quadrat Zoll, während die Werte auf der Horizontalen das Alter des Zements vor dem Anmachen von 0 bis 20 Tagen anzeigen.

In Tabelle 2 (Seite 416) sind die Zugfestigkeitswerte von 1:3 gemischten Normenprobekörpern nach 2,6 und 27-tägiger Wasserlagerung nach vorausgegangener eintägiger Lagerung in feuchter Luft angegeben. Die Festigkeiten der Probekörper aus Zement, der 120° C heiss war, bevor Wasser und Sand zugesetzt wurden, waren niedriger als die mit Zement von 15° C erhaltenen, und zwar schwankten die Festigkeitsrückgänge von 21% nach 3 Tagen bis zu 16.5% nach 28 Tagen. Alle Proben erfüllten indessen die Anforderungen der englischen Normenvorschriften.

ANMERKUNG DER SCHRIFTFÜHRUNG.

DER Herausgeber der internationalen Zeitschrift „CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE“ fordert die Leser dieser Zeitschrift auf, ihm Artikel zur Veröffentlichung zur Verfügung zu stellen. Das Manuskript kann in englischer, französischer, deutscher oder spanischer Sprache eingereicht werden und wird in die drei anderen Sprachen durch Fachleute übersetzt.

Es werden Abhandlungen erbeten über alle neuen Gedanken oder Entwicklungen in der Herstellung, Chemie oder Prüfung von Zement oder über verwandte Themata, die für die Zementindustrie von allgemeinem Interesse sind. Beschreibungen und Ansichten neuer, in allen Teilen der Welt errichteter Zementfabriken sind ebenfalls willkommen.

Die Hersteller von Zementmaschinen sind ebenfalls aufgefordert, Mitteilungen und Ansichten zur Verfügung zu stellen, welche sich auf neue von ihnen erbaute Werke und Neueinrichtungen ihrer Fabriken beziehen. Derartige Beiträge sind eingeschrieben zu senden an den Herausgeber von „CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE“, Dartmouth Street 20, Westminster, London, S.W.1 (England).

Die Druckfestigkeiten von Beton aus Zement von verschiedener Temperatur sind in Tabelle 4 (Seite 418) zusammengefasst, und sie zeigen, dass in einer Mischung von z.B. 1:2:4, bei der der Zementgehalt verhältnismässig klein ist, eine offensichtliche Einwirkung auf die Festigkeit, wahrscheinlich infolge der schnellen Wärmeübertragung auf die Zuschlagstoffe und das Wasser, nicht eintritt. Es wurden zylindrische Druckprobekörper von 20.3 cm Höhe und 10.2 cm Durchmesser verwendet. Die aus diesen Probekörpern ermittelte Druckbeanspruchung erwies sich nach Versuchen der Building Research Station ungefähr gleich 75% der Druckfestigkeiten, die sich bei Probekörpern in Würfelform—eine Form, die in vielen Laboratorien verwendet wird—ergaben. Die entsprechenden Festigkeiten von Würfeln dürften daher etwa 30% höher sein, als sie nach Tabelle 4 erhalten sind.

Eine statistische Auswertung der Festigkeitsversuche in den Tabellen 2 und 3 zeigt (Seite 416 und 417), dass eine bestimmte Wichtigkeit den kleinen Festigkeitsschwankungen bei den Proben, die innerhalb 18 Stunden nach dem Mahlen verarbeitet wurden, beizumessen ist. Die Schwankungen sind jedoch geringfügig und stellen einen maximalen Festigkeitsabfall der Mörtel um 10% dar, dagegen einen Festigkeitszuwachs bei Herstellung von Beton. Die Schwankungen der Festigkeit zwischen Proben, die zu einem späteren Zeitpunkt nach dem Mahlen verarbeitet wurden, sind nicht bedeutsam. Im allgemeinen wird man folgern dürfen, dass die Einflüsse der Verwendung von heissem Zement unter den Bedingungen, wie sie vermutlich auf der Baustelle herrschen, unwichtig sind.

Am 23 Juli 1929 wurde in Gegenwart eines Vertreters der Building Research Station ein Teil einer Betonstrasse verlegt. Das Stück war etwa 6.5 qm gross und lag neben einem Güterladeplatz, wo es einer sehr starken Beanspruchung ausgesetzt war. Die Gesamtstärke des Betonbelags betrug 19.05 cm; der 12.7 cm starke Unterbeton war aus einer Mischung von 1 Teil Portlandzement zu 1.67 Teilen Kies zu 1.3 Teilen Ziegelschotter zusammengesetzt. Die Mischung war steif und verlangte erhebliche Stampfarbeit. Der Oberbeton von 6.35 cm Stärke hatte die Zusammensetzung von einem Teil Portlandzement, einem Teil zerkleinertem Grobkies (unter 1.27 cm Grösse) und 1.5 Teilen Kies. Es wurde so ausreichend Wasser zu der Mischung gegeben, dass sich eine Konsistenz ergab, die etwa einer Slump-Probe von 10.16 bis 12.7 cm entsprach.

Die Temperatur des verwendeten Zements betrug 115° C, als er auf die Mischfläche entleert wurde. Die Temperaturen einer Portion Beton, die für die Oberschicht verwendet wurde, waren wie folgt:

Temperatur des Zements	...	...	...	...	...	...	115° C
Temperatur des Wassers	...	...	...	...	...	...	22° C
Temperatur des Zements und der Zuschläge, trocken gemischt	...	...	...	...	...	...	40° C
Temperatur des Zements und der Zuschläge, nass gemischt	...	...	...	...	...	...	32° C

Diese Werte sind typisch für den zur Oberschicht der ganzen Fläche verwendeten Beton.

Der Verkehr wurde auf der Fläche nach zwei Tagen freigegeben, und der Beton wurde bis dahin feucht gehalten. Nach elf Wochen schwerer Beanspruchung wurde der Beton durch einen Vertreter der Building Research Station inspiziert. Der Beton befand sich in ausgezeichnete Verfassung, da keine Risse und keine Zeichen der Zerstörung sichtbar waren.

Tabelle 2 (Seite 416) zeigt die Abbindezeiten des heissen Zements.

Spalte 1 gibt das Alter des geprüften Zements an.

Spalte 2 zeigt die Lagerungsbedingungen; die Versuche nach 30 Minuten wurden mit Zement, der direkt aus den Mühlen kam auf dem Zementwerk ausgeführt; die Versuche nach 3, 8 und 20 Tagen wurden mit Zement, der

in einem Vakuumgefäß aufbewahrt worden war in der Building Research Station ausgeführt; die Prüfung nach 14 Tagen erfolgte mit Zement, der 14 Tage, in 7.6 cm starker Schicht ausgebreitet, der Luft ausgesetzt war, in der Building Research Station.

Spalte 3 enthält die Temperatur des Zements, bevor das Anmachewasser zugesetzt wurde.

Spalte 4 zeigt die Temperatur des Zementbreis beim Formen an.

Spalte 5 gibt die Menge Wasser in Prozent auf trockenes Material berechnet an, die eine Konsistenz ergibt, welche einer Eindringung des Vicat-Kolbens bis zu 5 mm und einem Auseinanderfließen auf dem Fliesstisch von 12.7 cm entspricht.

Spalte 6 enthält die Werte für den Abbindebeginn.

Spalte 7 enthält die Werte für das Abbindeende.

Tabelle 3 (Seite 417) enthält die Zugfestigkeitswerte für Zement-Sandmörtel aus heissem Zement.

Spalte 1 informiert über das Alter des Zements.

Spalte 2 gibt die Lagerungsverhältnisse an und zwar: (a) direkt von der Mühle; (b), (c), (d) und (e) in einem luftdichten Behälter; (f) 14 Tage in 7.6 cm starker Schicht der Luft ausgesetzt.

Spalte 3 zeigt die Temperatur des Zements vor dem Anmachen,

Spalte 4 die Temperatur des Mörtels beim Formen an.

Spalte 5 gibt die Menge des Anmachewassers in Prozent auf Zement berechnet an; (*) diese Serie von Probekörpern wurde im Laboratorium der Zementfabrik hergestellt.

Spalte 6 enthält die Werte für die Zugfestigkeit in Pfund/Quadratzoll nach 3, 7 und 28 Tagen. (†) Diese Serie wurde in dem Zementwerk ausgeführt, während die übrigen Versuche in der Building Research Station vorgenommen wurden. § Average. The last line in each section gives the probable error.

Tabelle 4 (Seite 418) enthält die Druckfestigkeitswerte eines 1:2:4 gemischten Betons aus heissem Zement.

Einzelheiten der Mischung: 1 Gewichtsteil Zement, 2 Gewichtsteile besonders scharfen, gewaschenen Sandes (Sieb von 0.635 cm passierend), 4 Gewichtsteile zerkleinerten, gewaschenen Kieses (zwischen 1.91 und 0.635 cm). Die zugesetzte Wassermenge war ausreichend, um eine Mischung von einer Konsistenz zu erzeugen, wie sie durch die 2.54 cm Slump-Probe gekennzeichnet ist.

Spalte 1 informiert über das Alter des Zements.

Spalte 2 über die Lagerungsbedingungen (in allen Fällen im luftdichten Behälter).

Spalte 3 zeigt die Temperatur des Zements vor dem Mischen,

Spalte 4 die Temperatur des Mörtels beim Formen an.

Spalte 5 enthält Angaben über die Menge Anmachewasser in Prozent auf Zement berechnet.

Spalte 6 zeigt die Druckfestigkeiten in Pfund/Quadratzoll nach 3, 7 und 28 Tagen. §=Durchschnitt. Die letzte Spalte gibt den möglichen Versuchsfehler jeder Sektion an.

Umwandlung der Masse bei den Uebersetzungen.

Bei allen übersetzten Artikeln sind die Gewichts- und Masseneinheiten angenähert in englische oder metrische Einheiten umgewandelt.

Der Drehofen bei der Zementherstellung.—II.

von W. GILBERT, Wh.Sc., M.Inst.C.E.

DER Verfasser hat im Laufe berufsmässiger Praxis die Erprobung von Drehöfen hinsichtlich Brennstoffverbrauch und Leistung auf neunzehn verschiedenen Werken überwacht. Im Laufe der Zeit ist ein systemhaftes Arbeitsverfahren herausgebildet worden. Es ist beabsichtigt, jetzt im allgemeinen die Art der Vornahme der wichtigeren, erforderlichen Messungen zu beschreiben und später Einzelheiten der massgebenden Prüfung zu geben. Eine Wärmebilanz soll ausgearbeitet werden, und die möglichen Ersparnisse an Kohle in diesem besonderen Falle sollen angedeutet werden.

Dauer der Prüfung.—Die Prüfung eines Drehofens dauerte gewöhnlich eine Woche. Der notwendige Zeitraum hängt teilweise von der Menge Kohle in den einzelnen Behältern und den Kohlentrocknungs- wie Mahlmaschinen, die beim Anfang wie Ende jeder Prüfung geschätzt werden muss, ab. Eine zu kurze Zeitspanne würde den Schätzungsfehler unverhältnismässig gross gestalten. Das Mass der Leistung des Ofens schwankt ebenfalls täglich, wahrscheinlich infolge der Bildung eines Klinker-Ringansatzes, kurzer Stilllegungen, kleiner Aenderungen im Feuchtigkeitsgehalt und in der Zusammensetzung des Schlammes oder infolge nicht genügend getrockneter Staubkohle.

Eine massgebliche Prüfung muss sich daher über einen, mehrere Tage umfassenden Zeitraum erstrecken. Es ist auch eine grosse Zeit erforderlich, damit der Untersuchungsingenieur, der vorher mit dem Betrieb des Werks nicht vertraut war, die Arbeitsweise des Ofens mit den dazu gehörigen Kohlentrocknungs- und Mahlmaschinen in allen ihren Einzelheiten erfasst.

Messung der Rohkohle.—Bis heute werden in England noch nicht allgemein automatische Kohlen-Wägemaschinen verwendet. Die Betriebsleitung kennt ungefähr das Gewicht der gekauften Kohle und das Gewicht des verkauften Zements, und es ist üblich, halbjährlich zwischen beiden Werten eine Beziehung aufzustellen unter Berücksichtigung der Vorräte. Die Rohkohle gelangt zu den Werken, (a) in Eisenbahnwaggons oder (b) in Schuten.

Durch Bahn angelieferte Kohle.—Wenn die Werke eine Brückenwaage besitzen, die gross genug ist, um einen beladenen Kohlenwaggon zu fassen, dann ist das Problem verhältnismässig einfach, da die während der Prüfung benötigten Waggons gefüllt und später leer gewogen werden können, womit eine geeignete Registrierung gewährleistet wird. Andererseits ist es gelegentlich empfehlenswert, die Waggons auf der nächst gelegenen Eisenbahn-Brückenwaage wiegen zu lassen.

Steht eine Brückenwaage nicht zur Verfügung, so ist es häufig möglich, die Kohle direkt aus dem Eisenbahnwaggon in Schubkarren zu schaufeln. Die Kohle wird dann in Mengen von 125 kg auf einer Plattenwaage abgewogen. Es ist bequem, wenn die leeren Karren das gleiche Gewicht besitzen und genau 125 kg jedes Mal wiegen, weil es die Registrierung vereinfacht.

Für eine Fabrik mit einem 60 m langen Ofen wird es notwendig sein, in sieben Tagen oder 168 Stunden 350 t Kohle oder das doppelte Quantum bei einer Fabrik mit zwei Oefen abzuwiegen.

Durch Schute angelieferte Kohle.—Die Anlieferung mittels Schuten ist gewöhnlich unregelmässig und umfasst dann stets grössere Mengen. Die Kohle wird oft in einem Lager von flachem Boden oder in einem Schuppen abgelagert. Von hier kann sie mit Karren in Mengen zu je 125 kg, wie es

vorher beschrieben wurde, abgewogen werden. Die Erfahrung lehrt, dass der, den Schubkarren fahrende Arbeiter nicht immer verlässlich ist hinsichtlich eines stets gleichen Gewichts oder hinsichtlich genauer Registrierung der Zahl der gewogenen Karren; es ist daher gewöhnlich nötig, drei Schreiber, je einen pro 8-stündiger Schicht vorzusehen, die das Abwiegen der Kohle überwachen.

Besondere Methoden der Kohlenabmessung.—Wenn, wie es oft der Fall ist, die Kohlentrocknungs- und Mahlanlage für mehr als einen Ofen arbeitet, so müssen solche Öfen als Einheit geprüft werden. In besonderen Fällen hat der Verfasser jedoch einen Ofen einer Gruppe geprüft, indem die getrocknete Staubkohle in einen Behälter aus dünnen Stahlplatten von 225 kg Fassungsvermögen, der auf einer Plattenwaage montiert war, abgewogen wurde. Das Gewicht wurde auf einem Zifferblatt von grossem Durchmesser angezeigt, wodurch leichte und schnelle Messung sicher gestellt wurden. Es war notwendig einen besonderen Elevator, zwei Transporteure zum Füllen und Leeren des Behälters und passende Zufuhr- wie Entleerungsventile vorzusehen. Bewegliche Verbindungen wurden mit dem Ein- und Auslass hergestellt, und der Apparat wurde beim Arbeiten staubdicht gemacht. Ein anderes, gelegentlich zum Messen des Gewichts von Staubkohle für einen Einzelofen angewendetes Verfahren besteht darin, die Umdrehungen der Zufuhrschnecke am Boden des Behälters auf der Brenn-Plattform zu registrieren und so infolge geeigneter Messung einen Wert zu erhalten, für das Gewicht der Staubkohle, die mit der Umdrehung jeder Zufuhrschnecke entnommen wird. Auf dieses Verfahren wird noch eingegangen werden bei der zu beschreibenden Prüfung. Es sollte nur dann verwendet werden, wenn eine direkte Messung der verwendeten Rohkohle unpraktisch ist.

Feuchtigkeit der Rohkohle.—Der Prozentgehalt an Feuchtigkeit in der Rohkohle sollte beim Wiegen bestimmt werden. Wird die Kohle in Karren abgewogen, so wird von jeder Karre eine kleine Probe genommen und in ein verschlossenes Gefäss getan. Die mit jeder 8-stündigen Schicht erhaltene Menge wird in passender Weise gemischt und in vier Teile geteilt. Zwei Feuchtigkeitsbestimmungen werden endlich hiermit gemacht. Bei Kohle, welche in Eisenbahnwaggons angeliefert wird, ist es im allgemeinen bequem, abgemessene Proben in regelmässigen Intervallen beim Entladen vom Transporteur, der die Kohle in die Rohkohlenbehälter über dem Kohlentrockner fördert, zu entnehmen.

Die Feuchtigkeit in der getrockneten Kohle.—Die Kenntnis der Feuchtigkeit in der getrockneten Kohle ist notwendig, um die Wirksamkeit des Kohlentrockners beurteilen zu können. Ein kleines Messgefäss wird stündlich mit der den Trockner verlassenden Kohle gefüllt und sein Inhalt in ein verschlossenes Gefäss getan. Der Inhalt dieses wird gemischt und in vier Teile geteilt. Von jedem Durchschnittsmuster werden zwei Feuchtigkeitsbestimmungen gemacht.

Heizwert und Feuchtigkeit der Staubkohle.—Es ist verhältnismässig leicht, ein massgebliches Muster der Staubkohle zur Bestimmung des Heizwerts zu erlangen, indem man stündlich ein kleines Messgefäss voll Kohle dort entnimmt, wo diese in das Kohlenfeuerungsrohr eintritt. Die in einer 8-stündigen Schicht erhaltenen Muster werden gemischt und in vier Teile geteilt. Von jedem Durchschnittsmuster werden zwei Bestimmungen des Heizwerts und der Feuchtigkeit gemacht. Als eine Regel kann gelten, dass die Feuchtigkeit in der Staubkohle etwas geringer ist, als die in der Kohle enthaltene Feuchtigkeitsmenge, wenn diese den Trockner verlässt, da ein gewisser Gehalt an Wasser bei der Mahloperation verloren geht.

Mahlfeinheit der Kohle.—Proben werden stündlich aus der, die Mühle verlassenden Kohle gezogen und auf den 4900 qcm und 1600 qcm Sieben geprüft.

Klinker-Messung.—In vielen Werken wird der Klinker direkt vom Kühlerauslauf auf Wagen von 50.8 oder 60.96 cm Normalmass, die 1 bis 1.5 t fassen, abgegeben; derartige Wagen werden dann auf einer Brückenwaage abgewogen und danach entweder in der Mahlanlage oder auf das Lager abgekippt. Es ist im allgemeinen notwendig, die Wiegemaschinen mit Normalgewichten (25 kg) zu prüfen und ausserdem dafür zu sorgen, dass ein geeigneter Arbeiter in jeder Schicht vorhanden ist, welcher das Wiegen überwacht und das Ergebnis notiert.

Rotier-Waagen.—Auf anderen Werken ist für Klinker eine Rotier-Waage in Gebrauch gekommen; Abb. 8 (Seite 421) zeigt eine Zeichnung mit Erläuterungen zu dieser Waage. Ein kleiner Behälter kann in geeigneter Weise vorgesehen werden, um den Klinker der Trommel zuzuführen.

Wenn der Inhalt eines Sektors das richtige Gewicht erreicht hat, so sinkt die Trommel; diese Bewegung löst die Arretierungen G von dem Arretierungsstück F und die aus dem Gleichgewicht geratene Trommel dreht sich, wobei der abgewogene Klinker entleert wird. Sobald der Klinker anfängt, den Sektor zu verlassen, bringen die Gewichte am Hebel C die Trommel in ihre ursprüngliche Stellung, und der automatisch arbeitende Arretierungs-Mechanismus verhindert, dass die Trommel sich mehr als um eine 0.25 Drehung dreht. Die Trommel wird in dieser Lage während des Füllens mittels Feder reguliertem Hebel H gehalten.

Die Entleerung per Sektor ist nicht immer gleichmässig und während der Untersuchung sollte das Wiegen in regelmässigen Zwischenräumen eingestellt werden, um die Mengen aus jedem Sektor in einem passenden Behälter aufzunehmen und diesen Inhalt auf einer Plattenwaage zu wiegen. In einem Werk betrug der Durchschnitt aus den vier Sektoren 105.24 kg pro Sektor; der Höchstwert wurde mit 109.77 kg, der Minimalwert mit 99.79 kg festgestellt. In einer anderen Fabrik wurde die Rotier-Waage, täglich zweimal, eine Woche lang geprüft, wobei jeder Sektor nummeriert war. Das Ergebnis war wie folgt:

Nummer des Sektors	Maximalgewicht in kg	Minimalgewicht in kg	Durchschnitt aller Wägungen in kg
I ...	46.04	41.19	42.87
II ...	43.45	39.69	42.00
III ...	43.68	38.87	41.23
IV ...	42.09	39.69	40.73

Hinsichtlich des Betriebs ist diese Apparatur verlässlich, da sie kontinuierlich wiegt, ohne grosse Wartung zu benötigen. Für Prüfzwecke ist jedoch eine Plattenwaage vorzuziehen.

Analyse der Abgase.—Die Zusammensetzung der Abgase wird bestimmt, um den Ueberschuss an Luft in passenden Grenzen von, sagen wir, 2.5 bis 7.5% zu halten. Für diese Zwecke ist die Bestimmung der anwesenden Menge an Sauerstoff alles, was erforderlich ist.

Die Gase werden gewöhnlich gesammelt in einem Rohr von 0.65 cm Durchmesser, das etwa 60 cm in das Ofenende hineinreicht. Zum Schutz kann das 0.65 cm Rohr durch ein Rohr von 3.25 Weite hindurchgesteckt werden, wobei das letztere auf einer passenden Schiene in der Nähe des Ofenendes befestigt ist. Das 0.65 cm Rohr verstopft sich leicht mit Zementschlamm, der durch die Gase in das Rohr gelangt; es muss daher möglich sein, das Rohr zu Reinigungszwecken bequem herauszuziehen. Bei den meisten Ofenuntersuchungen wurde ein Orsat-Apparat benutzt, und ungefähr vier Bestimmungen von CO₂ und O₂ wurden stündlich am Tage ausgeführt. Es ist vorzuziehen, wenn die Ablesungen 24 Stunden hindurch vorgenommen werden, doch konnte dieses aus Mangel an Personal nicht durchgeführt werden.

Sauerstoff-Bestimmung.—Da die Analyse der Abgase eine wichtige Messung darstellt, würde eine kontinuierliche Bestimmung vorteilhaft sein, und entsprechend wurde in einigen Werken ein automatischer Sauerstoff-Registrierapparat erprobt. Das Instrument ist verhältnismässig kostspielig, um es aufzustellen, wenn es nur für eine kurze Zeitspanne gebraucht wird. Das Gas wird in den Apparat gesaugt, gemessen und durch Wasser, das von einem Behälter etwa 1.5 m über dem Apparat angesaugt wird, ausgetrieben. Das absorbierende Mittel ist Phosphor. Der Prozentgehalt an O_2 im Gas wird auf einer, durch Uhrwerk mit Glocke getriebenen Karte aufgezeichnet, und ungefähr 15 Ablesungen können in der Stunde erhalten werden.

Das auf einer Zementfabrik zur Verfügung stehende Wasser enthält oft Bodensatz, Sandkörner oder andere Fremdstoffe in der Nähe des oberen Ofenendes. Es wurde festgestellt, dass ein 2.50 cm Durchmesser besitzendes Absperrventil unter 1.50 m Druck, wenn es 0,1 mm geöffnet wurde, alles erforderliche Wasser liefern würde, und Aussetzen der Apparatur war daher infolge Verstopfens dieser Oeffnung sehr häufig. Schliesslich wurde das Wasser dem Apparat durch Düsen von ungefähr 3.20 mm Durchmesser unter einem Druck von 10 cm zugeführt, und jede Düse war mit einem Rundsieb von 30 Drahtmaschen umgeben. Bei kontinuierlichem Arbeiten kühlte sich das Gas, bevor es den Apparat erreichte; nicht genügend ab so, dass ein kleiner Kondensator mit 0.65 cm Messingrohren vorgesehen wurde. Wenn es nötig war, den Registrierapparat in einiger Entfernung vom Ofenende aufzustellen, stellten sich beträchtliche Schwierigkeiten ein, die eisernen Gasrohr-Anschlussstellen luftdicht zu bekommen.

Das Ansaugrohr am Ofenende musste völlig sauber von trockenem Schlamm gehalten werden, und es ging oft aus der Registrierkarte nicht klar hervor, ob das Rohr verstopft war oder nicht, da das Instrument auch dann weiter registrierte. Endlich stellte es sich als wünschenswert heraus, die Ablesungen des Sauerstoff-Registrierapparates ständig mittels eines Orsat-Apparates zu kontrollieren, und unter diesen Umständen wurde der Orsat-Apparat allein als ausreichend angesehen.

In ein oder zwei Fabriken jedoch ergaben sich nützliche Erkenntnisse durch Vergleich der Karten des Sauerstoff-Registrierapparats mit Karten eines Geschwindigkeits-Registrierapparats, der von der Wellentransmission der Endkohlenzufuhrschnecken getrieben wurde. Die Drehöfen werden für gewöhnlich mit konstanter Luftzufuhr betrieben, und es folgt daraus dass der Prozentsatz an O_2 in den Abgasen von dem Masse abhängig wird, mit dem die Kohle dem Ofen zugeführt wird. Wenn daher mit vergrösserter Geschwindigkeit der Kohlenzufuhr nicht ein korrespondierender Abfall des O_2 -Prozentsatzes in den Abgasen eintrat, so wurde angenommen, dass die Kohle im Behälter "hing," und umgekehrt konnte jedes plötzliche Anwachsen der Staubkohle hinter der Zufuhrschnecke entdeckt und in gleicher Weise gemessen werden.

Schliesslich wurden ähnliche Erkenntnisse in jeder Fabrik dadurch erhalten, dass die Umdrehungen in der Minute der Kohlenzufuhr-Schnecken gezählt wurden während der Zeit, in der das Gas aus dem Ofenende zur Analyse durch den Orsat-Apparat angesaugt wurde.

Der Verfasser ist der Meinung, dass für ständigen Gebrauch ein O_2 -Registrierapparat, der sorgsam eingebaut und überwacht wird, sich als ein erhebliches Aktivum in vielen Zementfabriken erweisen wird.

Temperatur-Messungen.—Die wichtigeren Messungen wurden durch Kupfer-Konstantan Thermoelemente, die in Stahlscheiden eingehüllt waren, bewirkt. Sie wurden in Verbindung mit Registrierfäden (vierfach, doppelt und einfach) und einer transportablen Anzeigevorrichtung benutzt. Temperaturen unter $175^{\circ}C$ wurden, falls keine kontinuierliche Registrierung gewünscht war, mittels Quecksilber-Thermometern bequemer gemessen.

Ofenabgase.—Das Pyrometer für die Ofenabgase sollte sich nicht weiter als 15 cm von dem äusseren Ofenende entfernt und dem Zentrum der Oeffnung gegenüber auf einer der beiden Seiten des Schlammrohrs befinden. Dieses ergibt eine durchschnittliche Ablesung, welche für den allgemeinen Arbeitsgebrauch ausreichend ist. Wenn das Pyrometer auf die nasse und verhältnismässig kalte Oberfläche des Schlammes im Ofen eingestellt ist, so kann die Ablesung etwas zu niedrig ausfallen. Die Grösse des Fehlers wird z.Zt. untersucht.

Zwischen dem Ofen und dem Fusse des Schornsteins fällt die Temperatur der Abgase schnell infolge des Eindringens kalter Luft in die Füchse durch Undichtigkeiten. Deshalb ist die Temperatur am Fusse des Schornsteins ebenfalls beobachtet worden.

Oberflächen-Pyrometer.—Um die Temperatur der Oberfläche des Ofenmantels und des Kühlermantels in den verschiedenen Stellungen zwecks Berechnung des Strahlungsverlustes zu messen, wurde eine Art von Pyrometer verwendet, wie sie Abb. 9 (Seite 424) zeigt. Die Kupfer- und Konstantandrähte, welche die Lötstelle des Thermoelements bilden, waren eingebettet in eine Kupferscheibe von 1.60 cm Durchmesser und 0.25 cm Stärke. Das Pyrometerrohr war wie gezeigt, ausgeschnitten und das offene Ende mit einer Asbestpackung abgeschlossen. Der übrige Teil der Scheide war von üblicher Ausführung. Um eine Ablesung der Oberflächentemperatur zu erhalten, wurde der Ofen etwa 30 Sekunden angehalten und die Kupferscheibe gegen den Mantel gedrückt, nachdem vorher aller Rost und Schmutz fortgekratzt waren. Die Kupferscheibe wird an ihrer Aussenseite durch Wärmeleitung erhitzt und an ihrer Rückseite durch Strahlung und Wärmeleitung abgekühlt. Wenn jedoch richtige Berührung mit dem Ofenmantel eingetreten ist, wird der Fehler wahrscheinlich ein oder zwei Grade nicht überschreiten. Sobald die Ablesung an der Anzeigevorrichtung konstant wird, sollte die Scheibe ungefähr 5 cm den Mantel entlang bewegt werden, worauf eine neue, etwas höhere Temperatur abgelesen werden kann. Für diese Beobachtungen ist es bequem, eine Ausgleichsleitung von etwa 9 m zu besitzen. Das Verfahren, die Manteltemperatur zur Berechnung der Ofen- und Kühlerstrahlung zu benutzen, wird später beschrieben werden.

Heissluft-Pyrometer.—Es empfiehlt sich nicht, die Temperatur der in den Ofen vom Kühler eintretenden Luft mittels eines gewöhnlichen Pyrometers, das am Fusse des Ofenkopfes eingeführt wird, zu messen, weil die Strahlung von dem herunterfallenden Klinker und von den in der Nähe befindlichen heissen Oberflächen der feuerfesten Auskleidung die Ablesung zu hoch ausfallen lässt. Eine ähnliche Erscheinung kann man beobachten, wenn man ein Quecksilberthermometer nahe an einen gewöhnlichen Ofen hält; es wird eine erheblich hohe Temperatur abgelesen werden infolge der Strahlungshitze des Feuers, trotzdem die durch den Rost eintretende Luft ungefähr Zimmertemperatur besitzt.

Nach umständlichen Versuchen bestand das endlich angewendete Verfahren darin, eine kleine Menge heisser Luft aus der Klinkerschütte oder aus dem Boden des Ofenkopfes zu pumpen und deren Temperatur zu messen, nachdem die Strahlungswärme eliminiert war. Die Vorrichtung ist in Abb. 10 (Seite 424) wiedergegeben, bei der die heisse, den Kühler verlassende Luft aus dem Boden des Ofenkopfes angesaugt wird. Die gemessenen Temperaturen liegen gewöhnlich zwischen 300° C und 425° C.

In der Stellung, in der das Pyrometer verwendet wird, wird die Ablesung zu niedrig ausfallen, obwohl Vorrichtungen getroffen sind, durch sofortigen Schutz des Thermoelements Strahlungen in die umgebende Luft von der Oberfläche zu vermeiden. Jedes Rohr der vielfältigen Hülzen wird durch

Konvektion infolge der gewaltsamen Luftzirkulation erwärmt, aber die so übertragene Wärme wird durch Strahlung von Rohr zu Rohr weitergeleitet, und endlich diese im Gesamt von der äusseren Oberfläche auf das Aussenrohr. Wenn man daher eine genügende Anzahl von Rohren vorsieht, so wird der durch Strahlung entstehende Fehler auf ein bis zwei Grad Fahrenheit reduziert werden. Ein konstante Ablesung an der Anzeigevorrichtung wird im allgemeinen erhalten, wenn man den Ansaugventilator sechs oder sieben Minuten laufen lässt.

Luft-Messungen.—Die gewöhnlich erforderlichen Luftmessungen betreffen die in den Ofen eintretenden Luftmengen: (a) Eintritt durch das Kohlenfeuerungsrohr, (b) Eintritt durch die Klinkerschütte, (c) Eintritt durch Undichtigkeiten an den Packungsringen und (d) Eintritt durch Heissluft-Rohre und Schlitzte.

In vielen Fabriken besteht ein System von Rohrleitungen, durch das heisse Luft für Trocknungszwecke aus dem Kühler nach dem Kohlentrockner geliefert wird, oder aber es wird ein besonderer Ofen für diesen Zweck benutzt. Die heisse Luft wird gewöhnlich um den Mantel des Trockners wie durch das Innere geführt. Es ist häufig notwendig, die Menge des heissen Luftstroms in Rohren oder Kanälen, wie sie soeben beschrieben wurden, zu messen.

Allgemeine Bemerkungen über Luftströmungen.—Nehmen wir an, dass wir ein Rohr oder einen Kanal haben (A, Abb. 11, Seite 424), durch den Luft gleichförmig in der Pfeilrichtung strömt, und dass Messingrohre mit passend geformten Enden in dieses eingelassen und mit dem wasserstandanzeigenden U-Rohr, wie durch D markiert, verbunden sind! Die Rohrenden sind in vergrössertem Massstabe in Abb. 12 (Seite 426) gezeigt. Das Rohr B, das in eine Messingscheibe, die parallel zum Luftstrom liegt, endet, wird auf den Wasserstands-Messer D den statischen oder Luftdruck übertragen. Das Rohr C, das ein zugeschrägtes, auf den Luftstrom gerichtetes Ende besitzt, wird sowohl den statischen Druck übertragen wie den Druck, der infolge der Strömungsgeschwindigkeit der Luft im Rohr A entsteht. Wenn daher der Wasserstandsmesser D den Unterschied zwischen den Drucken in beiden Rohren misst, so wird er den Druck oder die Wasserstandshöhe anzeigen, welche allein auf die Strömungsgeschwindigkeit zurückzuführen ist. Die Messingscheibe am Ende des Rohres B hat sich als notwendig erwiesen und ist als ausreichend befunden worden, um ungenaue Ablesungen des statischen Drucks infolge Induktionswirkung zu verhindern.

Die Konstruktion des dem Luftstrom zugewandten Rohrs in Abb. 11 (Seite 424) ist durch Pitot zur Einföhrung gelangt, während die Scheibe am Ende des statischen Druckrohrs B durch Darcy konstruiert wurde; doch sollen aus Bequemlichkeitsgründen alle Rohrkombinationen zur Luftmessung hier als Pitot-Rohre bezeichnet werden.

Die Messung des Drucks der Luftstromgeschwindigkeit in Zoll oder cm Wasserhöhe ist das, was in der Praxis gewöhnlich verlangt wird, und aus dieser Beobachtung kann die, durch ein Rohr fliessende Menge in einer jetzt zu beschreibenden Weise berechnet werden. Es hat sich indessen herausgestellt, dass eine besondere und ausgearbeitetere Form des Wasserstandsmessers D notwendig ist, da viele Beobachtungen nicht die Höhe einer Wassersäule von 5 mm übersteigen.

Eine Pitot-Rohrkonstruktion, die sich zur Messung der Luftgeschwindigkeit in der Klinkerschütte eines Drehofens eignet, wird in Abb. 12 (Seite 426) gezeigt. Da die Rohre hohen Temperaturen ausgesetzt sind, ist Hartlötung unangebracht; es ist deshalb eine einfache Konstruktionsform benutzt, und es sind keine kleinen Öffnungen vorhanden die mit Staub, wie er immer in der Klinkerschütte vorkommt, verstopft werden können. Die ganze Länge des Rohres kann etwa 1.25 m betragen, wobei drei Anschlussklammern benutzt werden.

Zum Gebrauch bei kalter staubfreier Luft ist eine feste Konstruktion von Pitot-Rohren durch das English National Physical Laboratory zur Einführung gelangt.

Eine stabile Form der Ausführung, wie sie sich für Zementfabriken eignet, wird in Abb. 13 (Seite 427) gezeigt. Der Gesamtdruck wird durch das Innenrohr A gemessen, das so angeordnet ist, dass es dem Luftstrom zugewandt ist, während der statische Druck mittels kleiner Oeffnungen gemessen wird, die durch das äussere Rohr B gebohrt sind. Das Rohr A und der Raum zwischen beiden Rohren sind jeder getrennt über die Enden C und D durch Gummischlauch verbunden. Die Anschlussstellen sind geschweisst und nicht hartgelötet, damit sie dem Einfluss der Luft oder der Gase widerstehen können, die auf 450° C oder 500° C erhitzt sind. Die Pitot-Rohrkonstruktion, wie sie Abb. 12 (Seite 426) zeigt, wird im allgemeinen verwendet zur Messung der Luft in Ziegelmauerwerk-Kanälen, da sie in jeder vernünftigen Länge ausgeführt werden kann. Die in Abb. 13 (Seite 427) gezeigte Form wird benutzt bei Stahlplatten-Rohren und Röhrenkolben.

Wasserstandsmessung durch Heben.—Der infolge der Luftgeschwindigkeit in den verschiedenen Rohren und Kanälen einer Drehhofenfabrik herrschende Druck,—ausgenommen sind die Kohlenfeuerungsrohre,—schwankt zwischen 2 cm und 0.025 cm oder noch weniger. Eine besondere Form der Wasserdruckmessung wird in den Abb. 14, 15 und 16 (Seite 428) gezeigt. Eine erläuternde Uebersicht ist beigegeben. Im Prinzip besteht der Apparat aus einem gewöhnlichen U-Rohr-Wasserstandsmesser. Die besondere Form setzt sich aus einem Mikroskop, das benutzt wird, den Wasserstand in dem einen Schenkel zu beobachten und einer Mikrometervorrichtung zusammen, die sich dazu eignet, in Verbindung mit dem Mikroskop die Verdrängung des Wasserniveaus zu messen, wenn eine Beobachtung gemacht werden soll. Die Glasgefässe A₁ und A₂, welche durch das Rohr B verbunden sind, entsprechen dem gewöhnlichen U-Rohr.

Man erkennt, dass der obere Eisenrahmen die Glasgefässe auf drei Stellen lagert. Die Lager ruhen auf flachen Aushöhlungen, die am Scheitel etwas abgeflacht sind, wodurch eine gewisse seitliche Toleranz entsteht. Der obere und untere Rahmen werden durch die Feder K zusammengehalten. Zwei schwere 0.65 cm starke Gummidruckschläuche von etwa 6 m Länge werden verwendet, um die Pitot-Rohre in dem Rohr oder dem Kanal mit dem Wasserstandsmesser zu verbinden. Die Enden der Druckschläuche passen auf die in Abb. 15 (Seite 428) dargestellten Anschlussstopfen Q₁ und Q₂. Durch Löcher, welche in das Gehäuse F gebohrt sind, und die leichten Gummischläuche P₁ und P₂ ist eine passende Verbindung zu den beiden Glasgefässen A₁ und A₂ hergestellt. Das Gewicht der langen Gummischlauchleitungen lastet so direkt auf dem Dreifussstativ und nicht auf den Glasgefässen.

Wenn eine Beobachtung gemacht werden soll, so wird der Dreifuss in passender Stellung aufgebaut, wobei die Stopfen Q₁ und Q₂ herausgezogen werden. Das Niveau des Mikroskop wird ungefähr auf dem Stativ M eingestellt und das Rad H wird gedreht, bis das Wasserniveau in dem Gefäss A₂ genau tangential liegt zu dem wagerechten Faden des Fadenkreuzes im Mikroskop. Die Mikrometer-Ablesung wird alsdann notiert. Das Wasserniveau erscheint unter Zuhilfenahme geeigneter Beleuchtung im Mikroskop als eine scharfe, geschweifte und umgekehrte Linie, wie es bei L zu sehen ist, und seine Lage kann mit grosser Präzision durch den horizontalen Teil des Fadenkreuzes im Mikroskop festgestellt werden. Dieses ist einer der Hauptvorteile des Apparates. Wenn die Pitot-Rohre sich in dem Rohre oder Kanal in der richtigen Stellung befinden, werden die Stopfen Q₁ und Q₂ zunächst eingesetzt, und wenn man annimmt, dass das, die Geschwindigkeit messende Rohr mit

Q_1 verbunden ist, so wird das Wasserniveau im Glasgefäß A_1 fallen und das Niveau in A_2 entsprechend steigen. Das Glasgefäß A_2 wird jetzt mittels des Rades H gehoben und Wasser fließt entsprechend von A_2 nach A_1 . Infolge der Stellung der Lager G_1 und G_2 wird das Niveau des Glasgefäßes A_1 nicht verändert. Diese Bewegung des Rades wird so lange fortgesetzt bis die Wasseroberfläche in A_2 wieder tangential im Fadenkreuz des Mikroskops verläuft. Alsdann wird am Mikrometerrad eine zweite Ablesung vorgenommen. Die Stellung des Wassers in jedem der beiden Glasgefäße A_1 und A_2 ist, was lediglich das Niveau angeht, dann genau die gleiche wie sie vor dem Einsetzen der Stopfen Q_1 und Q_2 war, und der effektive Wasserdruk, der der beobachteten Geschwindigkeit entspricht, ist durch die Bewegung des Rades H , die zur Wiederherstellung der ursprünglichen Lage notwendig war, gemessen worden. Da jedoch die Achse des Rades sich nicht genau unter der Achse des Glasgefäßes A_2 befindet, müssen die Ablesungen mit einer geeigneten Konstante

14

multipliziert werden, die in diesem Falle $\frac{14}{13,125}$ (Abb. 14, Seite 428) beträgt.

13,125

Damit das Wasserniveau durch das Mikroskop deutlich gesehen werden kann, wird im allgemeinen ein Spiegel verwendet, um das Licht an der erforderlichen Stelle zu konzentrieren; doch zum Gebrauch im Innern der Gebäude einer Zementfabrik, wo das Tageslicht gedämpft ist, hat der Verfasser es in allen Fällen vorgezogen, eine transportable elektrische Lampe in einigen Fuss Entfernung vom Mikroskop und genau in der Beobachtungslinie aufzuhängen.

Eine verfeinerte Form dieses Wasserdrukmessers, die auf drei Nivelierschrauben montiert ist, ist vielfach durch das National Physical Laboratory (England) benutzt worden, und das kräftige auf einem Dreifuss aufgebaute Modell, das hier gezeigt wurde, basiert auf jenem Apparat. Es wurde nach des Verfassers Angaben für den Gebrauch auf Zementwerken konstruiert.

Abb. 8 (Seite 421) Rotier-Waage für Klinker— A =Rotiertrommel, B =Seitenhebel für Trommel und Schneidenlager, C =Zentralhebel für Gewichte, D =Führungsstange, E =Fester Rahmen der Maschine, F =Arretierungsstücke an jedem Seitenrahmen, G =Vier Arretierungen an dem Ende jedes Trommelsektors, H =Hebel mit Federregulierung, I =Schutzplatte, J =Hin- und Hergehende Zähluhr; Abb. 9 (Seite 424) Pyrometer für Messung von Oberflächen-Temperaturen; Abb. 10 (Seite 424) Heissluft-Pyrometer— A =Pyrometer-Umhüllung mit Porzellankapsel und drei Flügelstützen, B =Kupfer-Konstantan-Thermoelement, C =drei Drahtstützen für das Thermoelement, D =vier polierte Stahlrohre, getrennt von einander angeordnet und gegen das Aussenrohr E gesichert, E =äusseres Stahlrohr, F =Verbindung zu dem von Hand getriebenen Exhaustor, G =In den Boden des Ofenkopfs eingebautes Rohr, H =Packungsring aus Asbest, I =an das Rohr E angeschlagener Winkelring; Abb. 11 (Seite 424) Schematische Darstellung eines Luftstroms in einem Rohr; Abb. 12 (Seite 426) Pitot-Rohre für die Klinkerschütte; Abb. 13 (Seite 427) Pitot-Rohr, schweres Modell des National Physical Laboratory; Abb. 14, 15, und 16 (Seite 428) Wasserdrukmesser nach dem Hebeprinzip, drei Ansichten— A, A_2 =Glasgefäße mit Wasser, B =die Gefäße verbindendes Glasrohr, C =Absperrhahn, D, D_2 =Korkpolster, welche die Stile der Glasgefäße halten, E =oberer Eisenrahmen, F =unterer Eisenrahmen, G_1, G_2 =Stützen für den oberen Eisenrahmen, H =Mikrometerrad mit 50 Teilungen, I =Mikrometerschraube mit 0,25 cm Gewindesteigung, J =vertikale in zehntel Zoll geteilte Skala, K =Zugfeder, L =Mikroskop mit Fadenkreuz, M =Stativ für das Mikroskop, N =Vorrichtung für Spiegelstativ, O =Dreifuss, P, P_2 =leichte Gummischläuche, Q_1, Q_2 =Stopfenverbindungen für 0,635 cm starke Druckschläuche aus Gummi zu den Pitot-Rohren.

(Fortsetzung folgt.)

Verhalten von Zement, Zuschlägen und Beton bei hohen Temperaturen.*

von Dr. RICHARD GRÜN und Dr. HUGO BECKMANN (Düsseldorf)

INFOLGE der Zunahme der Abmessungen moderner Bauwerke besonders in Bezug auf Höhe nimmt die Feuersicherheit bzw. die Widerstandsfähigkeit des Betons gegen Feuereinwirkung stets an Wichtigkeit zu. Bei steigender Höhe der Bauwerke wächst die Beanspruchung der Tragkonstruktionen auf Druck dauernd und von derartigen Tragkonstruktionen z. B. bei Hochhäusern muss verlangt werden, dass diese selbst bei starker mehrstündiger Feuereinwirkung unter der Belastung des überliegenden Gebäudes nicht zusammenbrechen, denn ein Nachgeben der Stützen eines Hochhauses, bei welchem z. B. in den ersten Etagen ein Schadenfeuer ausgebrochen ist, würde unabsehbaren Schaden im Gefolge haben. In der Praxis haben Betonkonstruktionen bei Schadenfeuer eine bemerkenswerte Widerstandsfähigkeit gezeigt, welche diejenige gleichwertiger Eisenbauten erheblich übertraf.

Auch Hitzeeinwirkung ausgesetzte Versuchshäuser haben sich im allgemeinen überraschend gut gehalten. Im Laboratorium ist durch umfangreiche Arbeiten die Geeignetheit verschiedenartiger Zuschlagstoffe in Bezug auf Raumbeständigkeit untersucht worden. Ebenso ist in Bezug auf die Raumänderung des abgebundenen Zementes weitgehende Klarheit geschaffen.

Es liegen aber nur wenige systematische Untersuchungen vor über die Beeinflussung der Druckfestigkeit von Beton durch Feuereinwirkung. Deshalb wurden Betone bzw. Mörtel aus verschiedenen Zementen und Zuschlagstoffen hergestellt und progressiv steigenden Temperaturen ausgesetzt, worauf die Druckfestigkeit der abgeschreckten als auch nicht abgeschreckten Mörtel ermittelt wurde.

Im Nachfolgenden sei zunächst über die bereits vorliegenden Versuche und anschließend daran über die Ergebnisse der neuen Untersuchungen im Forschungs-Institut berichtet:—

Da ein Beton sich zusammensetzt aus Zement und Zuschlagstoff, sei zunächst das Verhalten der Zemente, dann das Verhalten des Zuschlagstoffes ohne Zement—also der reinen Gesteine—und schliesslich das Verhalten des fertigen Betons besprochen.

Die Besprechung erstreckt sich zunächst: (I) auf das chemische Verhalten und zwar (a) Wasserabgabe in Abhängigkeit von der Temperaturhöhe und der Dauer der Temperatureinwirkung und weiter auf (b) die allenfallsige Kohlensäureabgabe. (II) das physikalische Verhalten nämlich (a) Raumänderung; (b) Festigkeitsänderung.

Zement.

Die Wasserabgabe des abgebundenen Zementes, welcher bekanntlich in reinem Zustande bis zu 25 oder 28% Wasser festzuhalten vermag, hängt zunächst ab von der Temperaturhöhe, die bei der Erhitzung erreicht wird, ausserdem naturgemäss von der Zeit, während welcher die Temperaturen einwirken. Gründliche Versuche über dieses Thema hat Endell durchgeführt,

* Vortrag, gehalten auf der 8. Vollsitzung des Ausschusses für Verwertung von Hochofenschlacke des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute, Düsseldorf, am 19.11.29.

indem er sowohl die Glühverluste erhärteter Portlandzemente bei verschiedenen Temperaturen als auch deren lineare Wärmeausdehnung bestimmte.

Der Kurvenverlauf der Abb. 1 (siehe Seite 431) zeigt, dass der Glühverlust der erhärteten Portlandzemente bei einstündiger Erhitzung abhängig ist von der Höhe der erreichten Temperatur, und dass bei etwa 1000° eine vollständige Entwässerung und Entsäuerung des Portlandzementes erzielt ist.

Auffallend ist, dass bis etwa 300° der Wasseraustritt der wassergelagerten Portlandzemente W_1 , W_2 , W_3 , W_4 schnell steigt, während dann bis 500° keine Veränderung eintritt. Dieser von Endell nicht erwähnte Umstand scheint zu zeigen, dass bei der Erhitzung bis 300° ein bestimmter Teil des bei der besonderen Art der Wasserlagerung vom Zement aufgenommenen Wassers ausgeschieden wird; nachdem dann trotz Steigerung der Temperatur bis 500° dieser Wasseraustritt nur wenig stärker wird, erfolgt bei 500° eine erneute Wasserabgabe.

Den Kurvenverlauf bei gleichmässiger Erhitzung abgebundenen Portlandzementes sowie Kalziumhydrat zeigt die gleichfalls von Endell aus der eben erwähnten Arbeit herrührende Kurve. Abb. 2 (siehe Seite 431). Es zeigen sich deutlich bei 530° der Zersetzungstemperatur von Kalciumhydroxyd Haltepunkte, welche darauf schliessen lassen, dass bei dieser Temperatur ein besonders lebhafter Wasseraustritt aus dem Portlandzement und somit eine gründliche Veränderung seines Gefüges eintritt.

Wie weit mit der Wasserabgabe auch eine Kohlensäureabgabe aus dem Portlandzement verbunden ist, ist bis jetzt nicht bekannt. Die vorliegenden Untersuchungen beschränken sich lediglich auf die Feststellung der Haltepunkte und der Glühverluste. Dagegen sind Zahlen für das physikalische Verhalten der reinen abgebundenen Portlandzemente vorhanden insofern als die Schwindung und Ausdehnung der Portlandzemente bei steigenden Temperaturen von Endell gemessen wurde. Die Kurventafel 3 (siehe Seite 431) zeigt die von Endell ermittelten Kurvenverläufe, welche zeigen, dass zunächst eine geringe Raumvergrösserung der erhitzten Portlandzemente auftritt, die bei 200-300° abgelöst wird von starker Schwindung, da offenbar Wasser aus den abgebundenen Zementen austritt und die Wärmeausdehnung nicht nur aufhebt, sondern auch zum Schwinden führt. Die in diesem Zusammenhang selbstverständlich gleichfalls sehr wichtige Festigkeitsänderung von purem Portlandzement wurde bis jetzt noch nicht untersucht, soll aber demnächst in den Bereich der Prüfungen einbezogen werden.

Zuschlagstoffe.

Die weitgehende Hitzebeständigkeit von purem Zement liess von vornherein darauf schliessen, dass starke Beschädigungen an Bauwerken, die Feuereinwirkung ausgesetzt waren, nicht zurückzuführen waren auf mangelnde Beständigkeit des Bindemittels, sondern vielmehr auf ungünstiges Verhalten der Zuschlagstoffe. So hatten z. B. bei den grossen Brandversuchen, die von Gary in Grosslichterfelde durchgeführt wurden, bei den dort geprüften Häuschen, die alle unter Verwendung des gleichen Zementes hergestellt worden waren, sich alle Wände aus Kies, Basalt usw. gut verhalten, während nur an den mit Granit als Zuschlagstoff hergestellten Wänden starke Ausplatzungen unter explosionsartigen Erscheinungen vor sich gegangen waren. Es ist deshalb unbedingt notwendig, besonders die Zuschlagstoffe einer gründlichen Prüfung zu unterziehen. Auch hier liegen bereits zahlreiche Versuche vor und zwar sowohl von amerikanischer Seite als auch von deutscher Seite. Zunächst sei das chemische Verhalten der Zuschlagstoffe

betrachtet. Hier ist zunächst von Wichtigkeit die allenfallsige Wasserabgabe z. B. aus Glimmer, über die noch keine Untersuchungen vorliegen. Vermutlich ist das eben erwähnte Ausplatzen des Granites neben Spannungserscheinungen auch auf diese Wasserabgabe innerhalb des Zuschlagstoffes zurückzuführen. Wichtig erscheint in Bezug auf das chemische Verhalten die Kohlensäureabgabe welche bei den Versuchen von Endell zu starken Schwinderscheinungen geführt hat. Abb. 4 (siehe Seite 431) zeigt für kristallinen, feinkörnigen, Süddeutschen Muschel- und Süddeutschen Weisskalk die lineare Wärmeausdehnung in Beziehung zur Temperatur. Der gestrichelte Teil der Kurven kennzeichnet den unsicheren Verlauf infolge Abgabe von Kohlensäure. Bei den meisten Zuschlagstoffen mit Ausnahme von kohlenurem Kalk erscheint das physikalische Verhalten wichtiger als das chemische Verhalten, da es zu Raum- und Festigkeitsänderungen führen wird.

Die Raumänderung verschiedener Zuschlagstoffe vor Verarbeitung zu Beton hat gleichfalls Endell untersucht und zwar an 5 verschiedenen Zuschlagstoffen, nämlich Granit, Diabas, Basalt, Sandstein und Hochofenstückschlacke. Abb. 5 (siehe Seite 431) zeigt für die erwähnten Materialien die Dehnung bei Erhitzung und Schrumpfung beim Abkühlen. Die Restwerte nach Kühlung stellen die bleibende lineare Ausdehnung dar. Hochofenstückschlacke wies die geringste Raumänderung auf, auch Sandstein verhielt sich verhältnismässig günstig, während Basalt, Diabas und Granit ungefähr die gleiche verhältnismässig starke Wärmeausdehnung zeigten die 4 mal so gross war, als die entsprechende Wärmeausdehnung von Hochofenstückschlacke.

Bezüglich der Festigkeitsänderung der Zuschlagstoffe genügt es, auf die unter „Beton“ im nächsten Abschnitt angeführten Daten zu verweisen.

Beton.

Das chemische Verhalten eines Betons wird bestimmt werden durch das entsprechende chemische Verhalten der ihn bildenden Aufbaustoffe, also der Zuschlagstoffe und des abgeordneten Zementes.

Von dem Verhalten eines fertigen Betons sind neue Erscheinungen nicht zu erwarten, insofern kann das chemische Verhalten des Betons nicht weiter besprochen zu werden, da es nichts Neues bieten kann.

Das physikalische Verhalten eines Betons kann nicht einfach vorausgesagt werden aus den betreffenden Eigenschaften der für sich geprüften einzelnen Komponenten: Zement und Zuschlag da im Beton ein Erzeugnis mit ganz anderen physikalischen Eigenschaften vorliegt, als sie die Einzelkomponenten haben. Der Zement hat bei Erhitzung für sich als Purzement einen ganz anderen Kohlensäure- und Wassergehalt als im Beton und die Zuschlagstoffe liegen im Beton in verschiedenen Korngrössen vor, welche Festigkeit, Schwindung und Dehnung beeinflussen, während bei der Zuschlagprüfung naturgemäss bloss Einzelstücke der Messung zugänglich sind.

Bis zu einem gewissen Grade wird auf die Raumänderung des Betons zu schliessen sein aus der Raumänderung der Zuschlagstoffe und aus der Raumänderung des Zementes. Wie die vorstehenden Kurventafeln gezeigt haben, dehnen sich alle Zuschlagstoffe bei der Erhitzung aus, die Zemente dagegen schwinden. Demgemäss werden die Betone, da die Ausdehnung gewöhnlich grösser ist als die Schwindung, ausnahmslos gleichfalls eine Dehnung zeigen, welche aber geringer sein wird als die Dehnung der ursprünglichen Zuschlagstoffe. Diese Voraussetzung konnte Endell in seiner Arbeit*, als richtig beweisen. Er zeigt,

* „Versuche über Längen und Gefüge-Änderung von Betonzuschlagstoffen und Zementmörtel unter Einwirkung von Temperaturen bis 1200° Heft 50 des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton.“

dass quarzhaltige Zuschlagstoffe bei ungefähr 575° infolge der α - β Quarzumwandlung dem Beton eine schnellsteigende Ausdehnung geben, während, die Mansfelder Kupferschlacke, Basalt und Diabas bei 1000° infolge des Entweichens von Gasen den Beton zum Quellen bringen, andererseits aber kalkhaltige Zuschläge infolge des Entweichens der Kohlensäure bei 900° zu Schwindungen führen. Eine Ausnahme macht die Hochofenstückschlacke, welche eine nur geringe aber gleichmässige Ausdehnung des aus ihr hergestellten Betons im Gefolge hat. In Kurventafel 6 (siehe Seite 431) sind typische Kurven für Beton mit quarzhaltigem Gestein, vulkanischem Gestein und einem kohlen säurehaltigen Gestein und schliesslich mit Hochofenschlacke einander gegenübergestellt. Es wird die lineare Wärmeausdehnung in Beziehung zur Temperatur gezeigt.

Weitaus die wichtigste Rolle bei Beanspruchung eines Bauwerkes durch Feuer wird zweifellos die Festigkeitsänderung spielen. Aus diesem Grunde wurden natürlich schon zahlreiche Versuche durchgeführt, durch welche ermittelt werden sollte, wie weit die Festigkeit durch verschiedene Hitzegrade beeinflusst wird. Sutcliffe hat Mörtel- und Betonkörper erhitzt und festgestellt, dass die Zugfestigkeit je nach der Zuschlagsart um 44-80% herabgeht. Noch stärkere Schädigungen der Zugfestigkeit hat Nitzsche gefunden welcher zeigte, dass die Zugfestigkeit durch 120-stündiges Erhitzen auf 300° bereits auf 1/4 bis 1/3 der ursprünglichen Zugfestigkeit zurückgegangen waren.

Aus Druckfestigkeitsuntersuchungen von Woolson geht hervor, dass die Druckfestigkeit von Beton bei vulkanischem Gestein z. B. bei Erhitzung auf 500° auf 88%, bei Anwendung von Kalkstein auf 58% zurückgeht. Im Widerspruch hierzu stehen Versuche von Steppes welcher bei Basalterhitzung auf 500° Festigkeitszunahmen um 15% fand. Auch in dem anderen Schrifttum finden sich Widersprüche insofern, als z.B. Gary bei den für den Deutschen Ausschuss für Eisenbetonbauten ausgeführten Brandversuchen an zweistöckigen Häusern feststellte, dass zwischen feuerbeanspruchten und nicht vom Feuer berührten Betonkörpern, soweit sie Basalt und Granit als Zuschlag enthielten keine wesentlichen Druckfestigkeitsabfälle auftraten, während nur Kiesbeton 1/4 seiner Festigkeit verloren hatte. Bei den Brandversuchen am Feuerwehrturm der Gesolei, die auf Anregung des erstgenannten Verfassers im Jahre 1927 ausgeführt wurden, wurden bei Prüfung der Druckfestigkeit des Betons bis zu einer Tiefe von 10-12 cm rund 30% Festigkeitsrückgänge festgestellt, während im Kern der Betonsäulen überhaupt keine Festigkeitsrückgänge gefunden wurden. Beeinträchtigung der Festigkeit stattgefunden hatte.

Bei diesen widerspruchsvollen Ergebnissen erschien es wünschenswert, nochmal mit verschiedenen Zementen und Zuschlagsarten Erhitzungsversuche an Normenwürfeln in einer eigens dazu geschaffenen Apparatur durchzuführen, zumal auch die weitausgedehnten amerikanischen Versuche keine endgültige Klärung des Problems, sondern lediglich eine von den deutschen Versuchen abweichende Reihenfolge für die Güte der Zuschlagstoffe in Bezug auf Feuerbeständigkeit gegeben hat. Bei den Versuchen waren nicht nur quarzhaltige Zuschläge und Kalkstein heranzuziehen sondern besonders auch die Hochofenschlacke zu berücksichtigen, da diese bei den Versuchen von Endell sich als am günstigsten erwiesen hatte, da sie eine völlig gleichbleibende verhältnismässig geringe Dehnung gezeigt hatte.

Durchgeführt wurden die Versuche an Normenkörpern, die aus den betreffenden Zuschlagstoffen mit einer grössten Korngrösse von 5 mm nach der Fullerkurve sowie nach der Porenvolumenkurve zusammengestellt und in verschiedenen Mischungsverhältnissen normgemäss eingeschlagen waren. Die

Körper selbst wurden nach der Herstellung zunächst 7 Tage an feuchter Luft gelagert und bei einer Zweiten Versuchreihe 3 Tage in Wasser und 1 Tag an der Luft gelagert und dann erhitzt. Zur Erhitzung diente ein Gasmuffelofen, welcher mit Gas aus dem städt. Gaswerk geheizt und mit einem Gebläse betrieben wurde (siehe Abb 7 Seite 433). Die Körper liess man entweder an der Luft abgeschreckt oder im Ofen langsam erkalten gelassen, schliesslich wurden sie auch in Wasser. Die diesbezüglichen Behandlungsweisen sind jeweils geschildert.

Die Standfestigkeitsprüfung wurde durchgeführt auf dem Steeger-Endell'schen Apparat an erdfeucht hergestellten Körpern im Mischungsverhältnis 1:3, Zuschlag Kies. Die Ergebnisse sind in Kurventafel 8 (siehe Seite 434) niedergelegt. Die Höhe des Prüfkörpers wird in Abhängigkeit von der Temperatur gezeigt für Hochofenzement- und Portlandzementquarzsandmörtel, 1:3 gemischt. Die Versuche wurden durchgeführt im Forschungs-Institut der Vereinigten Stahlwerke Dortmund.* Der Kurvenverlauf zeigt, dass sowohl der Hochofenzementbeton als auch der Portlandzementbeton unter der vorgeschriebenen Belastung 2 kg je qcm bis rund 1150° beständig bleibt, erst nach dieser verhältnismässig hohen Temperatur tritt ein Zusammensinken der Körper ein.

Um festzustellen wie die Hochofenschlacke auf den Zement einwirkt, wurde ein puzzolanhaltiger Zement, zu dem die Hochofenschlacke als Puzzolane verwendet worden war, nämlich der Hochofenzement A, Zahlentafel 1 (siehe Seite 440) einem Portlandzement W, Zahlentafel 2 (siehe Seite 440) gegenübergestellt. Die Eigenschaften der Zemente sind aus Zahlentafel 3 zu erschen (siehe Seite 441). Es wurde gearbeitet mit verschiedenen Zuschlagstoffen, nämlich Quarzsand, Basalt, Diabas und Granit. Abb. 9 (siehe Seite 434) zeigt den Kurvenverlauf der Druckfestigkeit in % der Anfangsfestigkeit für die 4 Zuschlagstoffe bei Hochofenzement- und Portlandzementmörtel 1:3 in Abhängigkeit von der Temperatur. Die Körper wurden kalt in den heissen Ofen gesetzt und bei gewöhnlicher Temperatur an der Luft abgekühlt. Die Körper waren—dies bezieht sich auch auf Zahlentafeln 1 u 2—7 Tage alt. Der Kurvenverlauf zeigt merkwürdigerweise bei der Erhitzung des Hochofenzementbetons in weitaus den meisten Fällen im Anfang eine Erhöhung der Festigkeit, während bei Portlandzement bei 300° Erhitzung in fast allen Fällen die Festigkeiten auf 80-90% herabgesunken sind. Sei höheren Temperaturen verhält sich am ungünstigsten in beiden Fällen der Granit. Die Versuche decken sich also mit den Beobachtungen des Materialprüfungsamtes.

Scheidet man den Einfluss der Zuschläge aus, dadurch, dass man die bei den jeweiligen Temperaturen erhaltenen Zahlen ohne Rücksicht auf die Zuschlagsart addiert und das Mittel zieht, so erhält man den Kurvenverlauf der Abb. 10 (siehe Seite 434), aus welcher deutlich hervorgeht, dass tatsächlich der Hochofenzement im Anfang der Erhitzung zu Festigkeitssteigerungen führt. Offenbar ist diese Erscheinung zurückzuführen darauf, dass die Hochofenschlacke bei diesen hohen Temperaturen in die Erhärtung eingreift und dadurch die Festigkeit erhöht.

Die Hochofenzementkörper des eben beschriebenen Versuches sind in Abb. 11 (siehe Seite 436) abgebildet. Die oberste Reihe stellt die Würfel vor Erhitzen dar, während die nächsten Reihen die Probekörper nach 2 stündiger Erhitzung auf die angegebenen Temperaturen zeigt. Das schlechte Verhalten des Quarzsandes und des Granits ist deutlich zu sehen. Die Ursachen der Festigkeits-

Herrn* Prof. Dr. Ing. Schulz und Herrn Dr. Hartmann sei an dieser Stelle für ihre frdl. Unterstützung herzlicher Dank ausgesprochen.

rückgänge sind deutlich zu erkennen bei einer Prüfung der Raumgewichte. Abb. 12 (siehe Seite 436) zeigt deutlich das Leichterwerden bei zunehmender Temperatur. Die Kurventafel zeigt ausserdem die Aenderung des spezifischen Gewichts und der aus diesem und aus dem Raumgewicht errechneten Porosität. Die Ursache für das Leichterwerden ist offenbar eine Gefügelockerung, die in den Abb. 13-14 (siehe Seite 436) deutlich zu sehen ist. Hier sind Quarzsandkörper, vor und nach Erhitzung auf 1100°, im Dünnschliff gezeigt.

Um den Anteil der Erhitzungsdauer bei gleichen Zuschlagstoffen aber verschiedenen Zementen zuermitteln, wurden die Prüfkörper bis zu 10 Std. einmal auf 300, einmal auf 500 und einmal auf 700° erhitzt und jeweils in Abständen von 2 Stunden die Festigkeiten ermittelt. Der Kurvenverlauf der Abb. 15 (siehe Seite 436) zeigt Folgendes: (Verhältniszahlen: nichterhitzte Körper = 100) Auch hier hat eine Erhitzung auf 300° eine deutliche Festigkeitssteigerung des Hochofenzementes zur Folge und zwar tritt diese Festigkeitssteigerung nach 2 Stunden ein; dann verläuft die Kurve ungefähr wagerecht. Im Gegensatz hierzu findet bei Portlandzement eine Herabsetzung der Festigkeiten statt, die auch bereits nach 2 Stunden auf das Maximum gestiegen ist. Bei 500° wird auch hier wieder der hochhofenschlackenhaltige Zement weniger stark geschädigt als der Zement ohne Hochofenschlacke. Für den letzteren ist der höchste Grad der Schädigung bereits nach 4 Stunden erreicht, während der hochhofenschlackenhaltige Zement längere Zeit zur Erreichung des tiefsten Punktes, nämlich 6 Stunden braucht.

Bei Erhitzung auf 700° ist bereits nach 2 Stunden ein Festigkeitsabfall auf 21% der ursprünglichen Festigkeit beim Hochofenzement erreicht. Der tiefste Punkt, der überhaupt erreicht wird, nach 10 Stunden, beträgt der Festigkeitsrückgang 82%. Ähnlich verläuft die Portlandzementkurve; mit anderen Worten: bei starker Erhitzung steigt die Schädigung in ganz kurzer Zeit auf den höchsten Betrag und nimmt dann nur noch wenig zu.

Als Zuschlagsart für die nächsten Versuche wurde in grösseren Mengen Hochofenschlacke herangezogen. Die Analysen dieser Hochofenschlacken sind in Tabelle 4 (siehe Seite 441) niedergelegt. Gearbeitet wurde bei dieser Versuchsreihe in der Art, dass die Körper in den kalten Ofen eingesetzt und eine Reihe im Ofen abkühlen gelassen die andere Reihe dagegen abgeschreckt wurde. Es wurde jeweils auf 300, 500, 700 und 900° erhitzt. Eine weitere Reihe der Körper wurde auf 100° Wasserdampf erhitzt. Die absoluten Zahlen sind in Zahlentafel 5 (siehe Seite 441) zusammengestellt, während die Verhältniszahlen zu Abb. 16 (siehe Seite 437) führten. Die verwendeten Prüfkörper waren 4 Tage alt (3 Tage in Wasser, 1 Tag an der Luft gelagert) und waren nach der Fullerkurve mit Naturgesteinen und Hochofenschlacken 1:4 gemischt. Die Erhitzung dauerte jeweils 2 Stunden. Tafel 5 (siehe Seite 441) zeigte die Festigkeiten vor dem Erhitzen und nach dem Erhitzen. Für die Temperaturen von 300° an sind die Ergebnisse erst für langsam und dann für schnelle Kühlung gegeben. Die Verhältniszahlen der Abb. 16 (siehe Seite 437) sind nur für langsame Abkühlung angeführt. Der Kurvenverlauf zeigt Folgendes:

Bei den natürlichen Zuschlagstoffen findet hier sowohl bei 100° als auch bei 300° eine geringe Festigkeitssteigerung statt, die offenbar zurückzuführen ist darauf, dass Hochofenzement verwendet wurde. Bei Erhitzung auf 500° fallen die Festigkeiten auf 50 bis 70% der ursprünglichen Festigkeiten ab und zwar am meisten beim Quarz und Basalt, welche bei 700° nur noch Festigkeiten von 20 bis 25 und bei 900° nur noch solche von 8-16% der ursprünglichen Festigkeit aufweisen.

Die Hochofenschlacken unterschieden sich untereinander dadurch, dass die Hochofenschlacken Rh, Vn, Gh normale Hochofenschlacken, waren die den Richtlinien entsprachen, während die Hochofenschlacke Gm eine besonders leichte schaumige Schlacke, den Richtlinien nicht entsprach.

Der Kurvenverlauf zeigt, dass hier die Festigkeitssteigerung bei 300° noch viel ausgesprochener in die Erscheinung tritt, als bei den natürlichen Zuschlagstoffen, ein Zeichen, dass bei diesen Temperaturen, bei welchen das Wasser noch nicht aus dem Beton ausgetreten ist, tatsächlich eine Reaktion, die zur Verfestigung führt, stattfindet.

Bei 100° ist Bemerkenswertes nicht festzustellen dagegen bei 500° ein Absinken, welches verhältnismässig gering ist und im ungünstigsten Falle bei der schlechten Hochofenschlacke 40% beträgt, während die guten Hochofenschlacken nur um 20% abgefallen waren. Demgegenüber zeigen die natürlichen Zuschlagstoffe bei derselben Temperatur einen Abstieg von 30%.

Bei 700° sind noch Festigkeiten von ungefähr 30-50% der ursprünglichen Festigkeiten vorhanden, während die natürlichen Zuschlagstoffe hier 20-30% gezeigt haben.

Auch das Absinken bei 900° ist nicht ganz so stark wie bei den natürlichen Zuschlagstoffen.

Eine Reihe der eben beschriebenen Körper wurde bei Erhitzung auf 300, 500, 700 und 900° noch heiss bzw. glühend aus dem Ofen herausgenommen und in kaltes Wasser gelegt. Hierbei wurden erhebliche Festigkeitseinbussen festgestellt, die aus Kurventafel 17 (siehe Seite 437) zu erschen sind. Die Zahlen zeigen Folgendes: Die stärksten Festigkeitseinbussen durch die Abkühlung sind bei 300° zu verzeichnen. Bei den höheren Temperaturen, bei denen die Körper an sich schon stark geschädigt sind, sind die Festigkeitseinbussen nicht mehr bemerkenswert. Die Tafel 5 (siehe Seite 441) sowie Abb. 17 (siehe Seite 437) zeigen die gewonnenen Werte. Der Kalkstein zerfällt bei 900° zu einer schlammigen Masse, Abb. 18 (siehe Seite 439).

Um festzustellen, in welcher Weise die Korngrössen allenfalls auf die Festigkeiten und deren Rückgänge einwirken können, wurden ausser nach der Fullerkurve auch nach der Porenvolumenkurve Zuschläge aus den eben beschriebenen Rohmaterialien hergestellt und diese zu Normenkörpern verarbeitet. Die Porenvolumenkurve und die Fullerkurve für die einzelnen Zuschlagstoffe sind in Kurventafel 19 (siehe Seite 439) zusammengestellt. Die Kurventafel zeigt, dass nach der Porenvolumenkurve naturgemäss mehr feine Anteile in den Zuschlägen vorhanden waren. Die Festigkeitsversuche wurden hier bis 500° durchgeführt, die ergebnisse sind in Tabelle 6 (Seite 441) zusammengestellt und in Kurventafel 20 (Seite 440) aufgezeichnet. Auch hier zeigt sich wieder ein Festigkeitsanstieg bei 300° und auch hier verhalten sich die Hochofenschlacken günstiger als die Naturprodukte.

Die Zahlen zeigen ein günstiges Verhalten auch noch bei 500°, dieses ist offenbar herbeigeführt durch die grosse Dichte des Betons.

Zusammenfassung.

1. *Standfestigkeit.*—Die Standfestigkeit des Betons auch bei hoher Temperatur ist noch gut, erst bei 1150° sinkt sie unter 2 kg/cm².

2. *Einfluss der Erhitzungsdauer.*—Bei 2 stündiger Erhitzungsdauer ist meist schon das Maximum der Einwirkung erreicht.

3. *Einfluss des Bindemittels.*—Hochofenschlackenhaltige Zemente verhalten sich günstiger als reine Portlandzemente, indem sie bei Erhitzung auf 300° zu Festigkeitssteigerungen des Betons führen.

4. *Anteil der Zuschlagsart.*—Quartzhaltige Zuschläge beeinflussen die Festigkeit am ungünstigsten, besonders Granit sinkt schnell in der Festigkeit, während Kalkstein sich besonders bei niederen Temperaturen bis 700° günstig verhält. Hochofen-Stückschlacke verhält sich günstiger als Naturgestein.

5. *Anteil der Abkühlungsart.*—Plötzliche Abkühlung durch Wasser setzt die Festigkeiten stark herab, selbst dann, wenn der Beton nur auf 300° erhitzt war. Die Festigkeiten betragen bei wasser-abgekühltem Beton bei 300° 30-50%
„ 500° 10-30%
wobei natürlich die bei 500° erhaltenen absoluten Zahlen tiefer liegen als bei 300°.

6. *Anteil der Korngrößen.*—Ein geringer Überschuss an feinem Korn ist von Vorteil.

7. *Einfluss der Temperaturhöhe.*—Dieser Einfluss geht aus Zahlentafel 7 hervor (siehe Seite 441).

Folgerungen für die Praxis.

Zur Errichtung von Bauwerken, die hohen Temperaturen Widerstand leisten sollen, arbeitet man am besten mit puzzolanhaltigen Zementen unter Zuschlag von dichter Hochofenschlacke. Bei Temperaturen bis 500° kann auch Kalkstein als ein Zuschlagstoff, der sich gut verhält, verwendet werden. Quarzhaltige Zuschläge sind unter allen Umständen zu vermeiden.

INTERNATIONAL

“CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE”

Bezugspreise.

AUF Grund der sehr stark vermehrten Herstellungskosten von „CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE“ in seiner neuen Form, ist es notwendig gewesen, den Preis auf 2 Shilling für jedes Heft zu erhöhen. Der jährliche, in der ganzen Welt postfreie Bezugspreis beträgt 24 Shilling. Augenblickliche Bezieher, welche auf Grund unserer früheren Subskriptionsliste im Voraus bezahlt haben, werden so lange die Hefte zum alten Preise weiter erhalten, bis ihr gegenwärtiges Abonnement abläuft.

Der jährliche Bezugspreis ist an „CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE“, London, S.W.1, Dartmouth Street 20, England einzusenden, worauf die Hefte regelmässig monatlich für die Dauer des Bezugs zugestellt werden.

BOOKS ON CONCRETE

FORMWORK.

A volume that should be in the hands of all concerned with construction in concrete has been written by Mr. A. E. Wynn, B.Sc., A.M.Am.Soc.C.E., a well known specialist in all classes of concrete and reinforced concrete structures. The book, **"Design and Construction of Formwork for Concrete Structures,"** gives the benefit of the author's very wide experience and specialist knowledge on the subject of formwork in such manner that it can readily be applied to any job. Tables are given setting out sizes of timber for all spans and loads; complete designs are given for formwork for every conceivable type of concrete structure, from simple footings to skyscrapers and arch bridges; there are tables from which quantities of timber required for any structure can be seen at a glance; it is, in fact, one of the few volumes that can be truly called "indispensable" to any builder. As *Engineering* said in a long review: "If Mr. Wynn's advice and recommendations are followed the prices derived from the factors given can be used with confidence when assessing the cost of formwork." *The Builder* said: "No contractor can afford to be without this important volume on a subject that has been too long neglected." This volume contains 320 pages, 219 illustrations (working drawings and photographs), 12 folders of complete formwork designs for large structures—these are in addition to the designs given in the text—and 11 design tables from which sizes and quantities can be seen at a glance. Details of cost are given with all designs. Price 20s.; by post, 20s. 9d.

PRE-CAST CONCRETE.

The only book dealing exhaustively with all types of concrete products and cast stone has just been published. **"Manufacture and Uses of Concrete Products and Cast Stone,"** by H. L. Childe, contains all the available information on the subject. It deals exhaustively with selection of materials, grading and proportioning, mixing, curing, surface treatment, moulds, etc. All methods of surface treatment are described and illustrated in colour and half-tone. A special chapter on moulds contains the most comprehensive selection of working drawings of moulds for all classes and shapes of products and cast stone. Sand, plaster, glue, concrete, and other moulds are fully described and illustrated. Suitable proportions of cement and aggregate are given for all classes of products and cast stone. (Third Edition.) Price 5s. (postage 6d. extra).

CONCRETE PRODUCTS.

"Concrete Building and Concrete Products."
—A monthly journal for builders in concrete and

manufacturers of concrete products and cast stone. Send for specimen copy. Price 4d. monthly.

COTTAGE CONSTRUCTION.

"Concrete Cottages, Bungalows and Garages," by Albert Lakeman, L.R.I.B.A., M.I.Struct.E. gives designs for concrete cottages, bungalows and garages of different types, with perspective drawings, plans, sections, full working drawings, bills of quantities, and all the information necessary to erect those structures at the very lowest cost. (Second Edition.) Cloth Binding, 5s.; Paper Covers, 3s. 6d. (postage 6d. extra).

GUIDE TO REINFORCED CONCRETE.

Every builder, student, clerk of works and foreman should have a copy of **"Elementary Guide to Reinforced Concrete,"** by Albert Lakeman, L.R.I.B.A., M.I.Struct.E. (late Lecturer at Woolwich Polytechnic), which explains the principles of reinforced concrete construction in such simple language that it can be understood by a reader with no previous knowledge of the subject whatever. (Fifth Edition.) Price 2s.

CONCRETE FOR BUILDERS.

"Concrete Construction Made Easy," by Albert Lakeman and Leslie Turner, gives complete designs for a wide range of structures, with table and clear diagrams, from which the builder with no previous experience can erect reinforced concrete structures. (Just published. Price, 3s. 6d.; by post, 4s.).

CONCRETE FACTORY OPERATION.

"Pre-cast Concrete Factory Operation" gives full illustrated descriptions of the methods, materials and plant used in twenty of the leading English factories producing pre-cast concrete of every description, from architectural cast stone to roofing tiles. Price 3s. 6d.; by post, 4s.

REINFORCED CONCRETE BEAMS.

Dr. Oscar Faber's work, **"Reinforced Concrete Beams in Bending and Shear,"** is an exhaustive treatise on the subject, and contains new rules and formulae which have a scientific basis and may be conveniently used by engineers. Price 9s. (postage 6d. extra).

HANDBOOK, DIRECTORY, CATALOGUE.

"The Concrete Year Book," edited by Dr. Oscar Faber, O.B.E., D.Sc., M.Inst.C.E., and H. L. Childe, is a handbook, directory and catalogue of the concrete industry. Only a few copies of the 1930 edition (684 pages) now left. Order now to avoid disappointment. Price 3s. 6d.; by post, 4s.

Detailed Prospectuses sent on Request.

CONCRETE PUBLICATIONS LIMITED,
20 DARTMOUTH STREET, WESTMINSTER, LONDON, S.W.1

C E M E N T

AND

CEMENT MANUFACTURE

EL CEMENTO Y SU FABRICACIÓN.

SECCIÓN ESPAÑOLA

PUBLICADA POR CONCRETE PUBLICATIONS LIMITED,
20, DARTMOUTH STREET, WESTMINSTER, LONDON, S.W.1, INGLATERRA.
Se publica el 20 de cada mes. Precio, 2 shillings el ejemplar.
Suscripción anual, 24 shillings, franqueo comprendido.

La transmisión de energía en las fábricas de cemento.

por W. GOODYEAR, M.I.Mech.E.

La fabricación del cemento Portland consume una gran cantidad de energía, variando dicho consumo entre unos 60 a 120 Kw-horas por tonelada producida. La cantidad exacta depende, sin embargo, principalmente, de la naturaleza de las primeras materias y de la finura del producto acabado. Han llegado a registrarse cifras más elevadas, de hasta 160 Kw-horas por tonelada, pero son cantidades no usuales.

Una gran porción de la energía se consume en la molturación de las primeras materias y del producto acabado, pero el consumo en otras secciones va creciendo constantemente, a causa de la introducción de dispositivos economizadores de mano de obra. En la mayoría de los puntos se dispone de energía eléctrica económica, y ésto, unido a la introducción del accionamiento de las máquinas por medio de motores eléctricos, aumenta la tendencia al empleo de la electricidad. Estos factores tienden, también, a eliminar la transmisión puramente mecánica, acoplando los motores más o menos directamente a las diversas máquinas; pero como, sin embargo, solamente los ventiladores y otras máquinas similares de alta velocidad pueden ser conectados directamente a los motores sin el uso de engranajes de reducción o transmisión, resulta de interés considerable el asunto del presente artículo.

Cuando las fábricas eran pequeñas, produciendo, por ejemplo, 1,000 toneladas por semana cada una, era corriente agrupar todas las máquinas consumidoras de energía alrededor de dos o tres grandes unidades productoras de fuerza. Con el advenimiento de la energía eléctrica, la transmisión resultó más sencilla, se dispusieron mayores facilidades para la diseminación de la fábrica y para la obtención de un agrupamiento o disposición mejor de la maquinaria. Con el uso de la electricidad, la transmisión pudo disponerse más fácilmente, y al mismo tiempo, las fábricas se hicieron mayores.

Con máquinas de baja velocidad del tipo horizontal se obtenía un rendimiento mecánico de un 90 a un 92% a plena carga, efectuándose, generalmente, el

accionamiento principal por medio de cables, que desde el volante iban a parar a una polea situada sobre el eje del molino. Con las máquinas de alta velocidad del tipo vertical, de lubricación forzada, se obtenía un rendimiento mecánico de un 92 a un 93%, a plena carga, pero ya no resultaba tan fácil transmitir la energía desde el eje de alta velocidad a un eje de molino de baja velocidad.

El método usual de transmisión de fuerza en cualquier industria es por cables, correas, cadenas, engranajes o electricidad. En algunas condiciones y en casos especiales, sin embargo, es posible el accionamiento eléctrico directo.

Los cables y correas suelen operar a alta velocidad. Forman un elemento elástico de transmisión, pero solamente pueden emplearse satisfactoriamente para accionar máquinas que requieran un par constante; si dicho par no fuera constante, las máquinas deberían ir provistas de un volante, u otro dispositivo que produjera el efecto de volante. La transmisión por cable o correa no se presta a una carga brusca o rápidamente alterable, sin la ayuda de un volante o elemento equivalente.

Transmisión por cables.—Los cables para la transmisión de fuerza debieran ser de algodón. El cáñamo y el abacá se emplean algunas veces en casos de urgencia, pero para larga duración y funcionamiento suave su valor es considerablemente inferior al del algodón. Los cables de algodón son de tres o de cuatro cabos, con un cabo de tensión o sin él, y aun cuando ambas clases tengan sus acérrimos defensores, no es improbable que ambas clases, aplicadas de la misma manera, funcionando en las mismas condiciones y con el mismo tipo de conservación, darían la misma duración de funcionamiento y resultarían igualmente económicas.

Para asegurarse condiciones de funcionamiento razonables, debería existir cierta relación mínima entre el diámetro del cable y el la polea en que trabaja. La mayoría de los fabricantes de cables adoptan la cifra de 30 (esto es, que el diámetro de la polea es 30 veces el diámetro del cable) como la más adecuada. La experiencia indica, sin embargo, que esta relación puede reducirse algo tratándose de cables de pequeño diámetro, y que hay ventaja en aumentarla ligeramente cuando se trata de cables de gran diámetro. Así, pues, una cuerda de un diámetro de 12 mm. trabajará a igual satisfacción sobre una polea de 330 o de 350 mm. de diámetro que sobre una de 380 mm. de diámetro, pero un cable de 5 cm. de diámetro dará mejor resultado cuando trabaje sobre una polea de, por ejemplo, 1,650 mm. ó 1,775 mm. de diámetro, que no si fuese del tipo exacto de 1,500 mm.

La velocidad más corriente, y probablemente más económica, para un cable, es la de 1,400 a 1,500 m. por minuto. Si ambas poleas son grandes, la cifra puede aumentarse, sin riesgo, a 1,800 y aún a 2,000 m. por minuto. Se requieren, sin embargo, condiciones muy buenas para que los cables puedan trabajar a esta velocidad. Cuando los cables que van a gran velocidad trabajan sobre poleas de pequeño diámetro, la acción de la fuerza centrífuga sobre el cable reduce de tal manera el arco de contacto, que se producirá el deslizamiento y un desgaste anormal; puede resultar, inclusive, imposible, transmitir la fuerza deseada sin mantener los cables extraordinariamente tensos. Siempre que fuese posible, el ramal tensor (conductor) del cable, debiera disponerse abajo, de modo que la relajación que debida al estiramiento pueda producirse, tienda a aumentar el arco de contacto. Si fuese el ramal conducido el situado abajo, el arco de contacto disminuiría.

La forma de las gargantas de las poleas y el diámetro efectivo de las diferentes gargantas son factores muy importantes para la duración de un cable de transmisión de fuerza. Si las gargantas son exactamente de la misma forma,

la cuerda se irá amoldando gradualmente a dicha forma. Si la forma de la garganta de una de las poleas es distinta de la de la otra, las cuerdas tendrán que amoldarse cada vez a ellas cuando pasen de una polea a la otra. Nunca se dará bastante importancia al trazado de las gargantas en las poleas para cables.

La capacidad transmisora de fuerza de los cables, para una velocidad de 1,460 m. por minuto, se da en la Tabla I. A cualquier velocidad inferior a 1,460 m. por minuto, la capacidad transmisora de fuerza quedará reducida en la misma proporción. A velocidades ligeramente más altas, la capacidad transmisora de fuerza de cualquier cable probablemente disminuirá en una proporción ligeramente más elevada, y sin duda decrecerá rápidamente a velocidades de 1,800 a 2,000 m. por minuto. La proporción de disminución quedará determinada, principalmente, por el diámetro de la polea menor.

TABLA I.

Capacidad transmisora de fuerza de las cuerdas de algodón de una velocidad de 1,460 m. minuto.

Diámetro del cable (cms.)	1.25	2	2.5	3	4	4.5	5	5.5	6.5
C.V. por cable	4.0	8.8	15.5	24.0	35	47	62	80	95

La transmisión por cables es un método muy conveniente y eficaz de transmisión de fuerza desde un eje a otro por medio de ruedas de gran diámetro, y con velocidades relativamente bajas en los ejes. Como no es posible cruzar los cables, ambos ejes habrán de girar en el mismo sentido.

La distancia entre centros de los dos ejes suele determinarse a menudo por razones de conveniencia del emplazamiento. Si la distancia entre centros es corta, las condiciones atmosféricas podrán resultar demasiado duras para la cuerda, y un ambiente húmedo podrá causar una contracción excesiva del cable y un daño irremediable. Si, por otra parte, los centros están demasiado distantes, puede producirse un deterioro por la catenaria excesiva que se forma; además, los cables pueden tender a balancearse, y será preciso instalar horquillas de guía. La dimensión conveniente para la distancia entre los centros de ejes será de 2.5 veces y media la suma de los diámetros de ambas poleas.

Prácticamente, no hay límite para la cantidad de energía que puede transmitirse por medio de un sistema de cables. Es fácilmente posible transmitir potencias muy grandes por este método, con marcha suave, relación de velocidad casi constante y reducido desgaste. Un examen de los datos disponibles indica que es posible transmitir una potencia mucho mayor por cm. de llanta de polea con cables de diámetro grande que con cables de pequeño diámetro. Con poleas principales, de una llanta de 2.50 m. y una velocidad de 1,460 m. por minuto en el cable, sería posible, en determinadas condiciones, transmitir 2,000 C.V. empleando cables de 5 cm.; solamente sería posible, en cambio, transmitir 1,000 C.V. en las mismas condiciones y con la misma llanta de polea, usando cables de 2.5 cms. de diámetro.

La limitación de la velocidad del cable y una relación de 30:1 para el diámetro de la polea al del cable, determinan automáticamente la más alta velocidad a que puede correr un eje accionado por cables. Con diámetros de cable de 2.5 y 5 cms., las mayores velocidades son de 305 y 155 r.p.m., respectivamente. Este principio ha sido extendido y calculado para todos los tamaños corrientes de cable en la tabla No. 2.

TABLA II.

Diámetro del cable (cms.)	...	1.25	2	2.5	3	4	4.5	5	5.5	6.5
Velocidad (máxima) del eje.	R.p.m.	610	420	305	245	205	178	155	135	120

Transmisiones por correa.—Pasando a las transmisiones por correa, puede decirse, desde un principio, que la transmisión por correas es de orden secundario con respecto a la transmisión por cables. Es cierto que la transmisión principal se efectúa a veces por correa, pero esto es más bien una excepción que una regla. También se usan algunas veces cintas de acero para la transmisión principal, pero tampoco este método ha sido muy ampliamente adoptado. Las correas o cintas son medios muy convenientes y útiles para emplear en transmisiones sencillas o secundarias; cuando la cantidad de energía es pequeña, puede disponerse económicamente una transmisión por correa. Muchas de las reglas empleadas en relación con el accionamiento por cable pueden emplearse ventajosamente también para la transmisión por correa.

Tratándose de la velocidad, en primer lugar, una velocidad de 1,200 a 1,400 m. por minuto es muy económica, y completamente adecuada a los accionamientos principales, siempre que el diámetro de las poleas sea grande y pequeña la fuerza centrífuga de la correa. En el caso de transmisiones secundarias, la velocidad puede reducirse ventajosamente a 600 ó 750 m. por minuto, y para transmisiones de menor importancia puede ser aún menor. En los casos en que el cambio de velocidad deba realizarse a mano, la velocidad debe mantenerse muy baja.

Teniendo en cuenta el espesor de las correas, la relación del grueso de las mismas al diámetro de la polea sobre la cual trabajan es un factor de tanta importancia como al tratarse de transmisiones por cables. El factor, en el caso de los cables y de sus poleas, ya se había fijado en aproximadamente 1 : 30; tratándose de correas, una relación de 1 : 40, y aún de 1 : 48, resultaría más adecuada.

Al disponer una transmisión por correa, los factores a tener en cuenta deben considerarse en el siguiente orden correlativo: 1°, fuerza que se desea transmitir; 2°, máxima velocidad económica o conveniente; 3°, área de la sección transversal de la correa; 4°, ancho de la correa, con relación a su espesor, y éste, a su vez, debe también considerarse con respecto al diámetro de la polea y al hecho de que la correa vaya directa o cruzada.

El tamaño de la polea más pequeña tiene un efecto importante, en las transmisiones por correa, sobre la cantidad de energía que han de transmitir. El diámetro de la polea puede ser tan pequeño, y tan alta la velocidad de la correa, que ésta apenas toque la polea al pasar a su alrededor. La curva de la Fig. 1 (pág. 404) ha sido trazada con el objeto de indicar la importancia del diámetro de la polea con respecto a la transmisión de energía; estos datos han sido comprobados con ejemplos de muchas transmisiones, y pueden considerarse como seguros.

El rendimiento de una transmisión por cable puede llegar hasta un 98%, con tal que todas las condiciones (velocidad del cable con relación al diámetro de la polea más pequeña, centros de cojinetes, rigidez del cable, forma de las gargantas, tensión del cable, etc.), sean favorables. El que el valor del rendimiento decrezca por debajo de 98% dependerá de la influencia ejercida por cada uno de estos factores.

El rendimiento de una transmisión por correa dependerá de: 1°, el espesor de la correa con relación al diámetro de la polea más pequeña; 2°, la velocidad de la correa con respecto al diámetro de la polea más pequeña; 3°, el arco de contacto de la correa sobre la polea más pequeña; 4°, la tensión total de los dos ramales de la correa; y 5°, el estado de la superficie de adherencia. El máximo rendimiento puede ser hasta de un 98%, pero no puede fijarse ninguna cifra para el rendimiento mínimo. La atmósfera polvorienta de muchas

fábricas de cemento hace muy difícil, a menudo, el mantener en buen estado la superficie de la correa.

En este punto podemos hacer referencia a la transmisión Lennix (por correa). En la Fig. 2 (pág. 405) se da una reproducción esquemática de esta clase de transmisión. En la transmisión Lennix, el arco natural de contacto de la correa con la polea menor queda aumentado por la aplicación de una polea o rodillo tensor sobre el ramal conducido de la correa, a la entrada de la polea conducida o a la salida de la conductora, según la que fuera de menor diámetro. El peso efectivo de esta polea tensora, o la presión ejercida por la misma, puede situarse de tal manera, que la presión de la correa sobre la polea accionadora y la tensión de accionamiento respondan automáticamente a cualquier variación de tensión o de la energía transmitida. Esta característica automática, si las otras circunstancias son las adecuadas, debiera producir un alto rendimiento. Sin embargo, no se dan cifras específicas algunas. La transmisión Lennix permite a los accionamientos por correa el ser aplicados con éxito a poleas que trabajen con centros muy próximos y con una diferencia de diámetro considerable. Una relación de velocidad de 8:1, y aún de 10:1, con centros muy próximos, se hace posible mediante la transmisión Lennix, característica que hace que esta forma particular de transmisión sea muy valiosa en muchos casos.

La tensión sobre los soportes, que resulta de todo accionamiento por correa, será similar, pero tal vez superior, a la tensión resultante en una transmisión por cables, y el proyecto y dimensiones de los soportes deberán ser realizados de acuerdo con esto. Además del valor preciso de la tensión requerido por la transmisión de la fuerza, necesitará una tensión adicional, tratándose de correas, para evitar que patinen.

Transmisiones por cadena.—La transmisión por cadena se está popularizando cada vez más en la práctica reciente, y es superfluo decir que los factores principales, con respecto a esta clase de transmisión, son opuestos a los correspondientes a las transmisiones por cable o por correa. Tratándose de estas dos últimas, se tienen cables o correas relativamente ligeros, que transmiten pequeñas potencias a muy altas velocidades; en la transmisión por cadena, se tienen cadenas pesadas que transmiten grandes potencias a una velocidad relativamente pequeña. De esta forma, la experiencia adquirida para un tipo de transmisión no puede ayudar para nada en el estudio de la otra, ya que ambos están basados en principios diferentes.

Hay dos tipos principales de accionamientos por cadena. Uno es el antiguo tipo basto de cadena de paso grande, que es el adoptado para transportadores de cadena, elevadores y otros trabajos similares. En él, los eslabones suelen ser de fundición maleable, y la cadena se engrana con ruedas de muescas de hierro fundido (con dientes templados) o de acero al manganeso. Este tipo de cadena ha servido, y probablemente servirá todavía, útilmente. Sin embargo, la velocidad y la fuerza de tensión deben mantenerse relativamente bajas. Las listas de los fabricantes suelen asignar una velocidad máxima de 300 a 360 m. por minuto para las cadenas de esta clase, pero las condiciones deben ser muy buenas para que las cadenas puedan ir a dicha velocidad. La tensión efectiva debe mantenerse razonablemente uniforme, y no debe quedar retenida la cadena, ni haber peligro de atascamiento, pues si tal cosa acaeciera, probablemente, la cadena se rompería. Este tipo de cadena es muy conveniente, y sirve para muchas cosas, pero difícilmente puede ser considerado como un elemento de transmisión de energía para grandes potencias.

El otro tipo de cadena es de un modelo muchísimo más perfeccionado; la construcción es completamente diferente, el peso es mucho más pequeño y

uniforme, están construídas con muchísima mayor precisión y exactitud, y se trata de un trabajo de calidad superior; los dientes de las ruedas con los cuales se engrana la cadena están fresados a máquina, con gran precisión. Esta cadena es a propósito para transmitir altas potencias a velocidades de rotación relativamente elevadas; y con tal que las condiciones sean favorables, pueden llegar hasta 600 m. por minuto, y aún más, en condiciones escogidas.

Este tipo de cadena se emplea mucho en las industrias de construcción de máquinas-herramientas y de elaboración de la madera; en algunos casos, se encierran varios juegos en la misma caja de engranajes, para obtener transmisiones de velocidad variable, etc. En la industria del cemento, las cadenas de este tipo pueden usarse como transmisión multiplicadora, desde un eje de baja velocidad hasta otro de velocidad mayor, o vice-versa, como elemento reductor, de un eje de marcha rápida a otro de marcha más lenta.

La transmisión puede aplicarse a cualquier par de ejes de centros próximos; y estos centros pueden llegar a estar tan cerca uno del otro que los bordes de los dientes estén separados solamente una línea unos de otros.

Los soportes de los ejes deberán ser muy rígidos; los conjinetes deberán estar cerca de las ruedas; la cadena y las ruedas deberían, de ser posible, estar encerradas en una cámara de aceite herméticamente cerrada, y aplicarse un sistema de lubricación adecuado.

Engranaje recto o cilíndrico.—La transmisión de fuerza medio de engranajes rectos o cilíndricos también está muy generalizada. Es una de las formas más antiguas de transmisión, y el accionamiento de elevadores, transportadores, toda suerte de molinos, secadores, hornos, enfriadores, etc., se realiza frecuentemente por medio de este tipo de engranajes. Primitivamente, los engranajes cilíndricos se moldeaban de una sola pieza, o en varias piezas, por medio de una máquina, con modelos de moldear, pero ambos métodos tienen sus defectos; estos defectos son los que imponen, luego, un límite a la potencia que puede transmitirse o a la velocidad a que pueden funcionar las ruedas.

Para obtener más altas velocidades de funcionamiento, y una marcha más silenciosa, en igualdad de las demás condiciones y para el mismo trabajo, se hace engranar una rueda, ordinariamente de hierro fundido, con dientes fresados, con los dientes de madera (dientes sobrepuestos) de la otra rueda. Han llegado a hacerse pares de ruedas de esta índole para transmitir hasta 100 C.V., la velocidad periférica podía ser muy alta, pero la presión en los dientes debía reducirse, y de todos modos, los dientes de madera tenían que ser renovados a menudo. Las ventajas de este tipo de engranaje eran una marcha silenciosa y una reducción en la lubricación.

Posteriormente, se adoptaron los engranajes de acero fundido, moldeados con modelo y con la máquina de moldear. Las ruedas de engranaje de este metal rara vez se rompían, pero frecuentemente se desgastaban muy deprisa, a causa de la lubricación deficiente. Hacían, también, mucho ruido. Cuando se introdujo el empleo de dientes fresados, se consiguió una gran mejora.

Debido a la inexactitud del paso, no es posible en la práctica hacer marchar engranajes de hierro fundido moldeados, con modelo o con máquina, a una velocidad superior a 500 ó 550 m. por minuto, y aún en estas condiciones, podría resultar necesario mantener reducida la presión en los dientes. Si la velocidad o la presión son demasiado altas, el choque producido por la inexactitud mencionada, causará la rotura de los dientes. Si se substituye la fundición de hierro por la de acero, se suprimirán las roturas, pero aumentará el ruido. El ruido podrá no ser una objeción grave, pero el ruido es señal de que hay

choque, aceleración y retardamiento con desgaste excesivo, y como tal, debe ser reducido, o enteramente eliminado. Debe tenerse el máximo cuidado en la obtención de un paso lo más exacto posible.

Con la introducción de dientes fresados se obtuvo una inmensa mejora en las condiciones de funcionamiento. Este progreso permitió la obtención de mayores velocidades, y la admisibilidad de más altas presiones en los dientes; produjo un funcionamiento más suave y permitió la aplicación satisfactoria de una lubricación eficaz. Estas condiciones mejoradas requirieron una instalación mejor hecha, y exigieron un género de conservación más cuidadoso. El coste de instalación es forzosamente mayor, pero puede transmitirse mayor potencia, su duración en buen uso es mayor, y es más importante el rendimiento económico.

A continuación se reproducen cifras típicas, y reales, obtenidas en un tipo de molino antiguo, pero muy corriente, accionado por medio de engranajes de fundición moldeados a máquina o con modelo, comparándolas con cifras muy parecidas, obtenidas de un molino de nuevo modelo accionado por engranaje de acero con dientes fresados; indican claramente cuál ha sido el progreso realizado, y el punto a que se ha llegado en el material de proyecto y funcionamiento de engranajes.

El molino antiguo iba accionado por una corona dentada de fundición, que tenía 100 dientes de un paso de 72.5 mm., 254 mm. de llanta, y giraba a 26 r.p.m., absorbiendo 100 C.V. al freno. La velocidad en la circunferencia primitiva era de 190 m. por minuto, y la presión de los dientes era de 95 kgs. por cm. de llanta. El nuevo molino va accionado por una rueda de acero fundido, con 139 dientes, de un paso de 87 mm. y de 316 mm. de llanta; gira a 24.5 r.p.m., y absorbe 750 C.V. al freno. La velocidad en la circunferencia primitiva es aproximadamente de 300 m. por minuto, y la presión de los dientes aproximadamente de 360 kg. por cm. de llanta. El primer engranaje era del tipo abierto, y se lubricaba de vez en cuando con grasa; el otro engranaje está completamente encerrado, y funciona en un baño de aceite. La vida de este último engranaje promete ser considerablemente más larga que la del primero, aun siendo más duras las condiciones de presión y velocidad.

Engranajes de accionamiento de los hornos.—Puede hacerse mención especial de los engranajes que accionan los hornos. Son, sin excepción, de acero fundido, la presión de los dientes en los primeros pares de ruedas es razonablemente moderada, pero en el último par puede llegar a ser de 700 a 900 kgs. por cm. de llanta; la velocidad de este último par es muy reducida. Estos engranajes suelen ser moldeados con modelo o a máquina, y se componen usualmente de tres a cuatro pares de ruedas. Aceptando la cifra de 87.5% para el rendimiento de cada par de engranajes, el rendimiento posible de cada engranaje, con su eje, vendrá a ser de un 85%, y el rendimiento total de toda la transmisión resultará de un 50% (el rendimiento será mayor si los engranajes tienen la superficie en buen estado, y sólo han sufrido pequeño desgaste). Si se instalan desde al primer momento engranajes de dientes fresados, las cifras de comparación serían, tal vez, del 97%, 94.5% y 79%, respectivamente.

Accionamiento por electro-motores.—El accionamiento por electro-motores se está generalizando, y la práctica de la distribución de energía está entrando en una fase completamente diferente. En un principio, las máquinas productoras se agrupaban alrededor de la máquina productora de energía, a menudo en detrimento de las primeras; el accionamiento por electro-motores permite colocar las unidades productoras de fabricación en los emplazamientos más ventajosos para sus respectivos cometidos.

Cuando la energía eléctrica se adquiere en gran escala, se emplea usualmente la corriente alterna, y el tipo de motor requiere una selección más cuidadosa. Puede afirmarse que los motores de jaula de ardilla de alto par de arranque se están generalizando mucho, en tamaños de hasta 20 C.V., siempre que la corriente de arranque no sea demasiado elevada para el manantial de energía disponible. Se están instalando, ahora, para tamaños mayores, motores de anillos rozantes, que también se instalan en aquellos casos en que deban mantenerse bajo control el par de arranque y la velocidad. Con la corriente continua, la velocidad conveniente y el control del arranque pueden obtenerse con mucha mayor facilidad; pero pueden, sin embargo, oponerse algunas objeciones al uso de los motores de corriente continua.

Los motores eléctricos acostumbran a ser de gran velocidad, y en la mayoría de los casos, es preciso interponer algún reductor entre el motor y la máquina accionada. Si la reducción es pequeña, por ejemplo, de 6:1, puede usarse un reductor de engranaje cilíndrico. Si la reducción es, por ejemplo, desde 10:1 hasta 30:1, debe emplearse un reductor de doble engranaje cilíndrico, o un reductor de tornillo sin fin. Estos aparatos reductores pueden instalarse conveniente y fácilmente, colocándolos en la posición que se desee, y sus controls pueden disponerse (a distancia del motor) agrupados en el lugar que más convenga.

En determinadas condiciones, puede resultar conveniente acoplar el motor directamente, por mediación de un acoplamiento elástico, a la máquina que acciona; haciéndolo así, puede usarse un motor de gran velocidad para los ventiladores, insufladores, bombas centrífugas, etc. También pueden acoplarse de la misma manera motores menos rápidos, o de baja velocidad, a las contramarchas de los molinos de bolas, refinados tubulares, etc., suprimiendo, así, completamente, todo engranaje independiente. Debe mencionarse, sin embargo, que el rendimiento de un motor de baja velocidad es menor que el de los motores de alta velocidad, y que el factor de potencia será considerablemente más bajo. Si el motor es de tamaño considerable, y las condiciones de funcionamiento lo permiten, el motor deberá ser del tipo auto-sincrónico, capaz de elevar el factor de potencia a la cifra que se desee.

Otro método sería la adopción de un moto-reductor (un motor de alta velocidad provisto de un reductor de engranaje sencillo, doble, y aún triple, en su mismo carter) con el eje de baja velocidad funcionando a la velocidad deseada. Estas máquinas se están popularizando mucho en el Continente europeo. Las piezas de trabajo de este engranaje son de acero especial, cementadas y rectificadas; los cojinetes son del tipo de bolas o de rodillos; la máquina, en su conjunto, es de alta calidad, y funciona con un rendimiento total (eléctrico y mecánico) de 90 a 92%, y da una reducción de velocidad desde 1,500 r.p.m. a la que se desee, hasta 20 r.p.m.

Generalidades.—Pudiendo elegirse entre estas alternativas, resulta natural preguntar: “¿Cuál de ellas resultará probablemente la mejor, o la de mejor rendimiento?” Generalmente, las condiciones de emplazamiento o del trabajo a realizar determinan el tipo de transmisión o de engranaje que se adopta, aun cuando algunas veces es posible la elección. No se debe perder de vista el rendimiento; sin embargo, no debe atribuirse excesiva importancia a la obtención de una cifra elevada, pues no siempre un alto rendimiento resulta económico. Se ha pasado revista al rendimiento de las transmisiones por cable, o correas, y parece posible llegar a la obtención de cifras de hasta un 98%, a plena carga, con buena marcha y condiciones favorables.

Si se estudia la posibilidad de instalar transmisiones por cadena, debe trazarse una divisoria entre las transmisiones de tipo basto y las perfeccionadas. Las transmisiones realizadas mediante cadenas de precisión de calidad superior, que engranan con dientes tallados a máquina, totalmente cerradas, lubricadas por inmersión, deberían tener un rendimiento del mismo orden que el de un solo par de engranajes cilíndricos fresados, o sea, de un 98%. Por otra parte, el rendimiento de una cadena de eslabones de hierro maleable, que engranase con los dientes de superficie áspera de una rueda de hierro fundido, sería muy bajo, especialmente cuando fuese nueva; esta última clase de cadena es más bien un elemento de conveniencia que un transmisor de energía. El rendimiento de una transmisión por engranajes cilíndricos puede ser muy alto o muy bajo, según fuere el perfil de los dientes, la uniformidad del paso de los mismos, la finura de la superficie de engrane, la presión unitaria sobre los dientes y la eficacia de la lubricación. Un engranaje de calidad superior, totalmente encerrado y lubricado por inmersión, con una relación de velocidad de, por ejemplo, 5:1, que trabaje en buenas condiciones generales, dará un rendimiento de un 98 a un 98.5%. Un engranaje de reducción doble, o triple, totalmente encerrado, de la misma clase, en las mejores condiciones dará un rendimiento de 96.5 a 97.5%, y 95 a 96%, respectivamente.

Por otra parte, el rendimiento del engranaje de superficie sin elaborar, moldeado con modelo o a máquina será muy bajo, probablemente de hasta sólo un 85% a 90%; el rendimiento de un engranaje muy desgastado o con mucho rozamiento sería del mismo orden; y en las peores condiciones, podría llegar a ser de sólo 80%, y aún 75%.

El rendimiento de un engranaje cónico de tipo totalmente encerrado en un carter puede ser de un 95%, tal vez (no disponemos de cifras), pero el rendimiento del engranaje cónico, como se le aplica ordinariamente, será siempre bajo. Las transmisiones por engranaje cónico deben evitarse siempre que sea posible.

El rendimiento de un reductor de tornillo dependerá, principalmente, de la relación de velocidad (ángulos de los conos). Si la relación de velocidad es del orden de $7\frac{1}{2}:1$, el rendimiento será de 93% a 94%; cuando se convierta en 30:1, el rendimiento descenderá hasta un 85%. En la fig. 3 (pág. 410) se da un gráfico que muestra la proporción de descenso del rendimiento de los reductores de tornillo sin fin, de calidad superior. La gran ventaja del engranaje de tornillo sin fin es su gran capacidad reductora de velocidad, y su suave funcionamiento.

También conviene mencionar el engranaje de velocidad variable; este engranaje se requiere, a menudo, para regular la velocidad del horno, del alimentador de carbón, del de pasta, los mecanismos extractores, alimentadores, molinos, etc., y para otros diversos fines especiales. No parece existir ningún engranaje de velocidad variable mecánicamente sólido y de rendimiento razonable, adecuado para carga dura; hay algunos tipos de engranajes pequeños, de por ejemplo, 20 a 25 C.V., pero su control no suele, generalmente, adaptarse al mando a distancia.

Cuando se dispone de corriente continua, es fácilmente posible obtener todas las velocidades razonables dentro de los límites impuestos por una velocidad máxima y una velocidad mínima del motor.

El elemento para obtener dicha variación también puede colocarse donde convenga, a distancia del motor. Cuando se emplea la corriente alterna, es necesario adoptar, bien un motor de dos velocidades, bien uno del tipo de colector. Algunas máquinas de la fábrica pueden ser accionadas convenientemente por un motor de dos velocidades, pero dos velocidades no satisfacen en

manera alguna todas las condiciones de funcionamiento. El motor de corriente alterna de tipo de colector suministra una escala considerable de variaciones de velocidad; pero, hasta el presente, ha resultado una máquina tan costosa, que es difícil llegue a ser económicamente conveniente. Con este motor, la variación de velocidad se obtiene cambiando la posición de las escobillas, siendo posible hacer este cambio a distancia. Este mismo tipo de máquina se emplea, también, para obtener velocidades permanentes muy distintas de las velocidades de sincronismo; en esta máquina, sin embargo, se gradúa la posición de las escobillas para obtener la velocidad deseada, y luego se dejan ya fijas permanentemente. Una regla muy conveniente relativa a los engranajes de velocidad variable es "No tratar de hacer mecánicamente lo que se puede efectuar eléctricamente."

Resumen.

A continuación damos un sucinto resumen de las notas precedentes:

Cables.—Son muy adecuados para las transmisiones principales y para transmitir grandes potencias desde y hasta ejes de marcha lenta. El algodón es el material más adecuado. No es posible cruzar los cables. La velocidad más económica es la de 1,460 m. por minuto. El rendimiento a plena capacidad es de un 97 a un 98%.

Correas.—Especialmente adecuadas para transmisiones secundarias, ligeras o muy ligeras. La velocidad dependerá de la naturaleza y misión del accionamiento. Las correas pueden ir cruzadas, o sin cruzar. El mayor rendimiento posible, a plena capacidad, es de un 97 a un 98%.

Cadenas.—Se dividen en dos clases: 1°, cadenas de tipo basto, o transmisiones de conveniencia; 2°, transmisiones de precisión de calidad superior. Las primeras se instalan solamente por mayor conveniencia, la potencia y velocidad serán reducidos, el rendimiento, más reducido todavía. La segunda clase puede realizar trabajos importantes, la velocidad puede ser elevada, lo mismo que la energía transmitida, funcionan con centros muy próximos, el rendimiento a plena capacidad, cuando están totalmente encerradas y lubricadas por inmersión, será de un 97 a un 98%.

Engranajes.—Se dividen, principalmente, en engranajes cilíndricos y cónicos, de calidad inferior y superior. El engranaje cilíndrico se utiliza universalmente: (a), moldeado con modelo o a máquina y para presiones y velocidades reducidas y medianas; (b), en forma de engranajes fresados, de precisión, para altas presiones y grandes velocidades. El mayor rendimiento posible, empleando engranajes fresados y lubricados por inmersión, será de un 97 a un 98%.

A causa de la dificultad de construir, alinear y mantener con precisión la alineación del engranaje, cónico, las velocidades, presión de los dientes y energía de este engranaje siempre serán inferiores a los del engranaje cilíndrico. El rendimiento será también menor. Siempre que sea posible, deberán evitarse los engranajes cónicos.

Electricidad.—Cuando se puede adquirir la energía a bajo precio, el accionamiento eléctrico por unidades separadas debe ser el adoptado; la velocidad del motor, así como lo que resulte de la aplicación de un reductor, si fuere preciso, debe ser estudiado desde el punto de vista de la economía. El rendimiento del motor será de un 90 a un 94 ó 95%, a plena carga. El rendimiento del reductor de engranaje puede obtenerse de los datos citados más arriba.

Velocidad variable.—La variación de velocidad puede obtenerse más satisfactoriamente por medio de la electricidad que de ningún otro modo. La corriente continua suministra actualmente las mejores facilidades económicas para cualquier variación dentro de límites razonables, con la ventaja de un fácil mando a distancia.

El cemento caliente.

por N. DAVEY, B.Sc., A.M.Inst.C.E.

(Estación de investigación de construcciones, de Watford, Inglaterra).

Con los términos "cemento caliente" queremos designar aquí el cemento que resulta caliente al tacto. El cemento se calienta por el calor de frotamiento, desarrollado durante la molienda, y generalmente, cuanto más finamente se muele el cemento, más elevada es su temperatura al salir de los molinos.

A menudo ocurre que el cemento, y más especialmente el cemento de endurecimiento rápido y el cemento almacenado en sacos de papel, resultan notablemente calientes al tacto cuando llegan a destino; a veces ha existido alguna duda acerca de la calidad del hormigón que resultaría de su empleo.

Aparte de los ensayos realizados por el Departamento de Carreteras del Estado de Tennessee, en Nashville, E.U. America, a los que se hace alusión en las Actas del Instituto Norteamericano del hormigón para el año 1929, p. 434, se dispone de poca información sobre este asunto. Los ensayos norteamericanos demostraron que, mientras estos cementos concordaran con las prescripciones físicas de las Normas de la Sociedad Norteamericana para ensayo de materiales para el cemento Portland, la temperatura del cemento al ser recibido en el emplazamiento de la obra no tenía importancia. No se encontró ninguna diferencia esencial en las resistencias a la tracción ni a la compresión, ni en las otras características, aun cuando se advirtió un fraguado ligeramente más rápido.

La Estación de investigación de construcciones Inglaterra emprendió una serie de ensayos sobre un cemento Portland normal, que cumplía las Normas de la Asociación británica de standards de ingeniería para el cemento Portland, y los resultados que anotamos más abajo confirman los obtenidos en America.

Se llegó a un acuerdo con uno de los fabricantes de cemento Portland, que permitió a los representantes de la Estación de investigación sobre construcciones visitar su fábrica, y recoger muestras de cemento apenas salía de los molinos. La temperatura del cemento sobre el transportador de correa que llevaba el cemento desde los molinos hasta los silos de almacenaje era de 140°C .

Los primeros ensayos de tiempo de fraguado, y la preparación de las briquetas de mortero de arena, se realizaron en el laboratorio de la fábrica, con el cemento a la media hora de hecho. La temperatura había descendido de 140° a 122°C , pero esta temperatura era aún muy superior a la temperatura que el cemento suele tener cuando llega a destino.

En la tabla I se dan las cifras del ensayo según las normas tipo para el cemento enfriado hasta 16°C , dos días después de salir del horno.

Usando recipientes contruidos especialmente y frascos aislados por el vacío (termos), el cemento recogido en los molinos a una temperatura de 140°C fué transportado a la Estación de investigación de construcciones, sin pérdida importante de calor. De esta manera, los ensayos que se habían realizado en la fábrica pudieron repetirse a distintos intervalos de tiempo, al ir enfriándose el cemento. La primera serie de probetas de hormigón se preparó en la Estación de investigación sobre construcciones, con cemento que tenía una temperatura de 120°C , y que no llevaba aún 4 horas de preparado.

Los ensayos de tiempo de fraguado en la tabla 2 (pág. 416), y los ensayos de resistencia a la tracción de la tabla 3 (pág. 417), se realizaron sobre muestras preparadas con cemento conservado en grandes frascos termos, y el hormigón se preparó con muestras conservadas en recipientes aislados de mayor capacidad, contruidos especialmente. La pérdida de calor fué diferente

en los dos tipos de recipiente, y por consiguiente, las temperaturas en cualquier momento dado variaron algo. Por ejemplo, después de 18 horas de conservación, la temperatura del cemento contenido en los frascos era de 65° C, mientras que en los recipientes mayores había descendido hasta 30° C.

TABLE I.
Análisis químico.

SiO ₂	...	...	...	...	22.18	
Al ₂ O ₃	...	...	...	...	5.10	
Fe ₂ O ₃	...	...	...	...	3.69	
TiO ₂	...	...	...	...	0.69	
CaO	...	...	...	...	63.10	
MgO	...	...	...	...	1.51	
Na ₂ O	...	...	...	...	0.42	
K ₂ O	...	...	...	...	0.82	
SO ₃	...	...	...	...	2.17	
Pérdida (por diferencia)	...	...	...	...	0.32	100.00

Análisis de finura.—Residuo al tamiz de 4900 mallas por cm², 7.26 %

" " 900 " " 0.21 %

Estabilidad de volumen.—Le Chatelier : 9 mm. de expansión (no aireadas).

2.5 mm. de expansión (aireadas 24 horas).

Resistencia a la tracción : Pasta Pura : 7 días. 57 kgs. por cm²

Mortero de arena : 7 " 27 " "

" " 28 " 32 " "

Para los ensayos de tiempo de fraguado, la pasta pura de cemento fué amasada con la cantidad de agua estrictamente necesaria para dar una consistencia representada por una penetración de 5 mm. de la aguja de Vicat. Esta consistencia correspondió a un desbordamiento de 12.5 cm. sobre el tablero de fluidez. Cuando el cemento estaba caliente hacia falta mayor cantidad de agua para producir esta consistencia. Las cifras de la fig. 1 (pág. 414) prueban que el cemento caliente fragua más rápidamente que el cemento frío, y que el efecto se nota más en el principio del fraguado. La diferencia entre el final del fraguado del cemento que tenía 122° C de temperatura al tiempo de efectuarse el amasado, y el de aquél que solamente tenía 15° C, era solamente de media hora. Esta diferencia puede considerarse de poca importancia.

En la fig. 1 (pág. 414) las cifras de la izquierda indican el tiempo de fraguado del cemento caliente, en horas; las cifras al pie indican la edad del cemento, desde media hora a 20 días. En la fig. 2 (pág. 415) las cifras de la izquierda indican la resistencia a la tracción de las briquetas de mortero de arena, preparadas con cemento caliente, en libras (inglesas) por pulgada cuadrada; las cifras al pie indican la edad del cemento antes de amasarse, desde 0 a 20 días. Las cifras de resistencia a la tracción en las briquetas de mortero de arena standard 1 : 3, conservadas en agua por 2, 6 y 27 días, después de un día de conservación al aire húmedo, están registradas en la tabla 2 (pág. 416). La resistencia de las briquetas preparadas con cemento que tenía 122° C antes de agregar la arena y el agua, fué inferior a la obtenida con cemento a 15° C, y varió desde una reducción de 21% a los tres días, hasta 16.5% a los 28 días. Pero todo el cemento se ajustó, sin embargo, a las prescripciones de los British Engineering Standards.

Las resistencias a la compresión del hormigón preparado con cemento de distintas temperaturas se indican en la tabla 4 (pág. 418), probando que en la mezcla de 1 : 2 : 4, en que la dosis de cemento es relativamente reducida,

no hay efecto aparente sobre la resistencia, lo que probablemente se debe a la rápida disipación del calor en el agregado y el agua. Se empleó una probeta cilíndrica a la compresión, de 20 cm. por 10 cm. de diámetro. Los esfuerzos a la compresión, determinados con esta probeta, han probado, mediante experimentos realizados en la Estación de investigación sobre construcciones, ser aproximadamente un 75% del esfuerzo a la compresión, obtenido en una probeta de forma cúbica (forma empleada en muchos laboratorios). La resistencia correspondiente de un cubo sería, por lo tanto, aproximadamente un 30% superior a la registrada en la tabla 4 (pág. 418).

Los análisis estadísticos de ensayos de resistencia, incluidos en las tablas 2 y 3 muestran que puede atribuirse un significado bien definido a las pequeñas variaciones de resistencia en muestras amasadas dentro de las 18 horas de su molturación. Estas variaciones son, sin embargo, pequeñas, representando un máximo de 10% de disminución de la resistencia de los morteros, y en cambio, un aumento de resistencia en el hormigón. Las diferencias en la resistencia de muestras amasadas a fechas posteriores después de la molturación no tienen importancia. En general, puede afirmarse que los efectos de usar cemento "caliente" en condiciones similares a las que se encontrarán en la obra, no revisten importancia.

El 23 de julio de 1929 se hizo el revestimiento de hormigón de una sección de carretera, en presencia de un representante de la Estación de investigación sobre construcciones. Esta sección tenía aproximadamente una superficie de 6.5 m², y estaba situada al lado de uno de los andenes, donde había de estar sujeta a un desgaste muy pronunciado. El espesor total de la capa era de 19 cm. Los 12.5 cm. del fondo estaban compuestos de una mezcla, en la proporción de 1.5 partes de cemento Portland, 2.5 partes de grava y 2 partes de ladrillo machacado. La mezcla era muy consistente, y requirió gran dosis de apisonado. La capa superior, de un espesor de 6 cm., fué dosificada a razón de 1 parte de cemento Portland, 1 parte de cascote machacado (de 1 cm. para abajo) y 1.5 partes de grava. Se agregó la cantidad de agua necesaria para que la mezcla diera una consistencia que se aproximara a un desbordamiento de 10 a 12.5 cm.

La temperatura del cemento empleado era de 115° C cuando se vació sobre la tarima de amasado. Las temperaturas de una palada del hormigón usado para la superficie superior fueron las siguientes:

Temperatura del cemento	...	...	...	...	...	...	115° C
Temperatura del agua	...	...	...	...	...	...	22° C
Temperatura del cemento y de los ingredientes mezclados en seco	...	...	...	...	...	...	40° C
Temperatura del cemento y de los ingredientes mezclados húmedos	...	...	...	...	...	...	32° C

Estas cifras corresponden al hormigón empleado para toda la superficie de la losa citada.

Al cabo de dos días se autorizó el tránsito encima de dicha porción, y entre tanto, se mantuvo húmedo el hormigón. Después de once semanas de uso continuo, fué inspeccionado el hormigón por un representante de la Estación de investigación sobre construcciones. El hormigón estaba en excelentes condiciones, no advirtiéndose grietas, ni señal ninguna de disgregación.

La tabla 2 (pág. 416) muestra el tiempo de fraguado del cemento caliente. La columna 1 da la edad del cemento ensayado. La columna 2 da las condiciones de la conservación (los ensayos a los 30 minutos se realizaron sobre cemento recién sacado del molino, en la fábrica misma; los ensayos a 18 horas, 3 días, 8 días y 20 días, se hicieron sobre cemento conservado en un frasco termos y ensayado en la Estación de investigación sobre construcciones; los ensayos a 14 días se hicieron sobre cemento aireado durante 14 días en capas

de $7\frac{1}{2}$ cm., y ensayado en la Estación de investigación sobre construcciones). La columna 3 da la temperatura del cemento antes de agregar el agua de amasado. La columna 4 da la temperatura de la pasta de cemento al tiempo de moldearla. La columna 5 indica la cantidad de agua de amasado empleada, en tanto por ciento del material seco (para producir una consistencia representada por una penetración de 5 mm. de la varilla de Vicat, y correspondiente a un desbordamiento de 12.5 cm. sobre el tablero de fluidez). La columna 6 da el principio de fraguado. La columna 7 da el final del fraguado.

La tabla 3 (pág. 417) muestra la resistencia a la tracción de morteros de arena preparados con cemento caliente. La columna 1 da la edad del cemento. La columna 2, las condiciones de conservación: (a) cemento recién sacado del molino; (b), (c), (d) y (e), cemento conservado en un recipiente cerrado herméticamente al aire; (f) cemento aireado durante 14 días en capas de $7\frac{1}{2}$ cm. La columna 3 da la temperatura del cemento antes del amasado. La columna 4 indica la temperatura del mortero al tiempo de efectuar el moldeado. La columna 5 da la dosis de agua de amasado, en tanto por ciento del cemento. Esta serie de ensayos se realizó en la fábrica de cemento, y todas los restantes ensayos se efectuaron en la Estación de investigación sobre construcciones. § = promedio.

La tabla 4 (pág. 418) muestra la resistencia a la compresión de un mortero 1 : 2 : 4, preparado con cemento caliente. Detalles del amasado: una parte en peso de cemento, dos partes en peso de arena fina especial lavada, que atraviese el tamiz de 6 mm., cuatro partes en peso de cascote machacado lavado, de un tamaño comprendido entre 18 mm. y 6 mm. La cantidad de agua de amasado agregada fué la suficiente para producir una mezcla de consistencia representada por un desbordamiento de 2.5 cm. La columna 1 da la edad del cemento; la columna 2, las condiciones de conservación (cada vez en recipientes herméticamente cerrados al aire); la columna 3 da la temperatura del cemento antes del amasado; la columna 4 da la temperatura del mortero al tiempo de efectuar el moldeado; la columna 5 da la cantidad de agua de amasado, en tanto por ciento del cemento; la columna 6 da la resistencia a la compresión, en libras (inglesas) por pulgada cuadrada, a 3, 7 y 28 días. § = promedio.

El horno rotatorio en la fabricación del cemento.—II.

por W. GILBERT, Wh.Sc., M.Inst.C.E.

En el curso de la práctica de su profesión, el que suscribe ha inspeccionado el ensayo de hornos rotatorios para determinar el consumo de combustible y la producción en 19 fábricas diferentes. Con el transcurso del tiempo, se ha elaborado un sistema de procedimiento. Ahora se propone describir en líneas generales el método de realizar las más importantes mediciones necesarias, y luego dar detalles de un ensayo a título de ejemplo. Se calculará el balance térmico, y se indicará la economía de carbón posible para ese caso particular.

Duración del ensayo.—El ensayo de un horno rotatorio dura ordinariamente una semana. El período necesario depende, en parte, de la cantidad de carbón

Para las figs. 1-7, véase el número de enero.

existente en las distintas tolvas, y en el secador de carbón y máquinas molidoras, que debe calcularse al principio y al fin de cada ensayo. Un plazo demasiado corto ocasionaría errores, procedentes de la estimación, relativamente considerables. El régimen de producción del horno también varía diariamente dentro de cierta escala, a causa, tal vez, de la formación de un anillo de clinker, de pequeños paros, ligeras alteraciones de la dosis de humedad y composición de la pasta, o de no estar suficientemente seco el polvo de carbón.

De aquí que, para resultar un ejemplo típico, un ensayo deba extenderse a un periodo de varios días. También hace falta tiempo, para que un ingeniero investigador, no acostumbrado previamente a la marcha de una fábrica, pueda abarcar con facilidad la marcha del horno, con su maquinaria de desecación del carbón y molturación anexas, en todos sus detalles.

Medición del carbón en bruto.—Hasta el presente, en Inglaterra no se ha adoptado universalmente el uso de máquinas pesadoras automáticas del carbón en las fábricas de cemento. La Dirección conoce aproximadamente el peso del carbón adquirido y el peso del cemento vendido, y semestralmente suele obtenerse la relación entre ambas, haciendo los debidos descuentos de las existencias.

El carbón en bruto suele llegar a las fábricas: (a) en vagones de ferrocarril; (b) en barcazas.

Carbón que llega por ferrocarril.—Si la fábrica tiene una báscula-puente suficientemente grande para admitir un vagón cargado entero, el problema resulta bastante sencillo, ya que los vagones empleados durante el ensayo pueden pesarse llenos y luego vacíos, estableciéndose el debido registro. De no ser así, a veces resulta posible pesar los vagones en la báscula-puente de la más próxima estación del ferrocarril.

Si no se dispone de una báscula-puente, a menudo es posible descargar el carbón directamente desde los vagones del ferrocarril en carretillas de mano. Entonces se pesa el carbón, en partidas de 125 kgs. cada una, sobre una báscula de plataforma. Resulta conveniente fabricar las carretillas de modo que vacías tengan exactamente el mismo peso, y que siendo todas de igual cabida, se queda pesar cada vez precisamente 125 kgs., por ejemplo; esto simplifica los cálculos.

En una fábrica de un solo horno, de 60 m. de largo, será necesario pesar unas 350 toneladas de carbón en 7 días, o 168 horas, y duplicar dicha cantidad para una fábrica de 2 hornos.

Carbón en barcazas.—Los arribos en barcazas suelen ser intermitentes y en cantidades relativamente grandes. El carbón se deposita, a menudo, en almácenos o cobertizos de suelo plano. Desde ellos puede pesarse en lotes de 100 kgs., en carretillas, como se ha descrito anteriormente. La práctica demuestra que no siempre se puede confiar en que los hombres que acarrean el carbón lleven invariablemente el peso exacto, o registren con precisión el número de carretillas pesadas; de ahí que suela ser necesario disponer tres empleados ayudantes, uno para cada turno de 8 horas, que inspeccionen la operación del pesaje del carbón.

Métodos especiales de medición del carbón.—Si, como sucede a menudo, la instalación de desecación y molturación del carbón crudo sirve para más de un horno, dichos hornos tienen que ser ensayados como si fueran una sola máquina. En determinados casos, sin embargo, el autor ha ensayado un horno perteneciente a un grupo, pesando el carbón pulverizado seco en una tolva de plancha delgada de acero, en la que cabían unos 225 kgs., montada sobre una báscula de plataforma. El peso se leía sobre un cuadrante de gran diámetro, asegurando así la facilidad y rapidez de la medida. Fué necesario instalar un

elevator y dos transportadores adicionales para llenar y vaciar la tolva, y disponer las válvulas de admisión y de descarga adecuadas. Se hicieron acoplamientos elásticos a la entrada y a la salida, y el aparato se hizo herméticamente cerrado al polvo durante su funcionamiento.

Otro método adoptado a veces para medir el peso del carbón pulverizado suministrado a un solo horno, es el de registrar el número de revoluciones de los tornillos alimentadores en la base de la tolva situada en la plataforma del calcinador, y obtener una cifra, mediante mediciones adecuadas, del peso del carbón en polvo descargado por cada revolución de cada uno de los tornillos alimentadores. Volveremos a aludir a este método en un ensayo que se describirá. Solamente debiera emplearse cuando no es posible una medición directa del carbón bruto consumido.

Humedad del carbón bruto.—La dosis de humedad del carbón bruto debiera determinarse al pesarlo. Si el carbón se pesa en carretillas, se toma una pequeña muestra de cada carretilla, colocándola en un receptáculo tapado. La cantidad obtenida por cada turno de 8 horas se mezcla debidamente, y se divide en cuatro partes, y finalmente, se hacen con ella dos determinaciones de humedad. Para el carbón que llega en vagones de ferrocarril, suele resultar conveniente extraer muestras de determinada medida a intervalos regulares durante la descarga del transportador, que lo vierte en la tolva de carbón bruto situada sobre el secador de carbón.

Humedad del carbón desecado.—La humedad del carbón desecado es necesario conocerla a fin de averiguar el rendimiento del secador de carbón. A cada hora se extrae una pequeña muestra del carbón que sale del secador, colocándola en un silo tapado. El contenido se mezcla y divide en cuatro porciones cada ocho horas, haciéndose dos determinaciones de humedad del conjunto de la muestra.

Poder calorífico y humedad del carbón pulverizado.—Es relativamente fácil obtener una muestra típica del carbón pulverizado para calcular su poder calorífico, extrayendo cada hora una pequeña medida del carbón, a medida que va entrando en el tubo del mechero del carbón. Las muestras obtenidas en cada turno de ocho horas son mezcladas y divididas en cuatro partes, haciendo dos determinaciones del poder calorífico y de la humedad sobre el conjunto de la muestra. Por regla general, la humedad del carbón pulverizado es algo menor que la del carbón que sale del secador, ya que alguna cantidad de la misma se pierde durante la molturación.

Finura de molturación del carbón.—Se extrajeron muestras cada hora del carbón que salía del molino, ensayándolas para averiguar el residuo sobre los tamices de 4900 y 1600 mallas por cm^2 .

Medición del clinker.

En muchas fábricas, el clinker se vierte directamente desde el extremo del enfriador en vagonetas de vía de 50.8 ó 60.96 cms., de una cabida de 1 a 1.5 t. Se pesan entonces estas vagonetas sobre una báscula puente de plataforma, y luego se vacían, bien en la instalación molturadora, bien en el montón donde se almacena. Generalmente, es necesario contrastar la máquina pesadora con pesos tipo (de 25 kgs.), asegurándose de que en cada turno haya un empleado adecuado para inspeccionar el pesaje y registrar los resultados.

Pesador rotatorio.—En otras fábricas se ha puesto en uso un pesador rotatorio, cuyo diagrama está reproducido en la fig. 8 (pág. 421), suministrándose una tabla de referencia. Puede disponerse una pequeña tolva, adecuada para la alimentación de clinker en el tambor.

Al llegar el contenido de un cuadrante al peso debido, el tambor se hunde, este movimiento suelta los topes G de las piezas de detención F, y el tambor,

perdiendo su equilibrio, gira, descargando el clinker pesado. Tan pronto como el clinker empieza a salir del cuadrante, las pesas de la palanca C restablecen el tambor a su nivel primitivo, y el mecanismo automático de parada impide que el tambor gire más de $\frac{1}{4}$ de revolución. El tambor se mantiene en posición durante el llenado, mediante la palanca H, controlada por resorte.

Lo vertido por cada cuadrante no es siempre uniforme, y durante un ensayo, el pesaje debe contrastarse a intervalos regulares, recogiendo lo vertido por cada cuadrante en un receptáculo a propósito, y pesando el contenido en una báscula de plataforma. En cierta fábrica, la descarga promedia de los cuatro cuadrantes fué de 105.24 kgs. por cuadrante, la descarga máxima registrada fué de 109.77 kgs., y la mínima, de 99.79 kgs. En otra fábrica, el pesador rotatorio fué contrastado dos veces al día durante toda una semana, estando numerado cada cuadrante. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Cuadrante No.	Peso máximo registrado kgs.	Peso mínimo registrado kgs.	Promedio de todas las pesadas kgs.
I ...	46.04	41.19	42.87
II ...	43.15	39.69	42.00
III ...	43.68	38.87	41.23
IV ...	42.09	39.69	40.73

El funcionamiento de esta máquina es seguro, ya que puede pesar continuamente, sin requerir casi ninguna atención. No obstante, a los efectos de los ensayos, será preferible una máquina de plataforma.

Análisis de los gases de salida.

La composición de los gases de salida se determina a fin de mantener dentro de límites adecuados el exceso de aire (entre un 2.5 y un 7.5%). A este objeto, lo único que se necesita conocer es la dosis de oxígeno presente.

Los gases suelen recogerse en una tubería de un diámetro de 6 mm., que penetra unos 60 cm. al extremo de salida del horno. Para apoyarse, dicha tubería puede pasar por el interior de otra tubería de 30 mm. de diámetro, que descansa sobre un carril adecuado, fijado cerca del extremo del horno. La tubería de 6 mm. se atasca fácilmente con la pasta arrastrada hasta su boca por los gases, por lo tanto, ha de ser fácil de retirar, con objeto de limpiarla. En la mayoría de los ensayos de hornos, se empleó un aparato Orsat, y se realizaron, por lo regular, cuatro determinaciones del CO_2 y del O_2 por hora durante el día. Hubiera sido preferible que las anotaciones hubiesen sido continuas durante las 24 horas, pero ésto no pudo hacerse, por la escasez de personal.

Registrador del oxígeno.—Ya que el análisis de los gases de escape es una medición importante, sería ventajoso mantener un registro continuo del mismo, y por consiguiente, en algunas fábricas se ensayó un aparato registrador del oxígeno. El instrumento resulta bastante costoso de instalar debidamente, siendo el gasto desproporcionado cuando solamente se requiere por un corto plazo. El gas entra en el aparato, es medido, y expelido por la acción del agua aspirada de un depósito, situado a unos 1.5 m. por encima del instrumento. El agente absorbente es el fósforo. La dosis de O_2 del gas se registra en un gráfico accionado por un aparato de relojería, pudiéndose obtener unas 15 anotaciones por hora.

El agua de que se dispone en las fábricas de cemento contiene, a menudo, sedimentos, barro u otras materias extrañas, cuando se halla cerca del extremo superior del horno. Se descubrió que una válvula de retención de un diáme-

tro de 25 mm., bajo una carga de 1.52 m., suministraba toda el agua necesaria, estando abierta menos de 0.1 mm., y ocurrían frecuentemente paros, debidos al atascamiento de dicho orificio. Últimamente, se suministró el agua al aparato por medio de boquillas de un diámetro de 3 mm.; que trabajaban con una carga de 10 cm., y se rodeó cada boquilla con un tamiz circular de tela metálica, de 140 mallas por cm². Trabajando continuamente, el gas no se enfriaba bastante antes de llegar al instrumento, de modo que se dispuso un pequeño condensador, con tubos de latón de 6 mm. Cuando era necesario colocar el registrador a alguna distancia del extremo del horno, se tropezaba con grandes dificultades para cerrar en forma completamente hermética al aire las juntas de la tubería de hierro para el gas.

La tubería de aspiración al extremo del horno tenía que mantenerse limpia de pasta seca, y a menudo, el gráfico del registrador no revelaba si la tubería estaba atascada o no, porque el instrumento podía continuar registrando. En último término se encontró conveniente mantener una comprobación continua de las anotaciones del registrador de oxígeno, por medio del aparato de Orsat, y en tales circunstancias, se consideró suficiente emplear el aparato de Orsat solo.

En una o dos fábricas, sin embargo, se obtuvo alguna información útil comparando los gráficos del registrador de O₂ con los gráficos tomados en un registrador de velocidades, accionado por el eje de los tornillos de alimentación del carbón en polvo. Los hornos rotatorios suelen funcionar en condiciones de suministro continuo de aire, y de ello se deduce que la dosis de O₂ presente en los gases de salida, dependerá de la proporción en que el carbón sea introducido dentro del horno. De ahí que, si el aumento de velocidad de los tornillos alimentadores de carbón no era seguido de una reducción correspondiente de la dosis de O₂ en los gases de salida, se suponía que el carbón en polvo estaba deteniéndose en la tolva, y recíprocamente, cualquier exceso de afluencia de carbón en polvo en los tornillos alimentadores podía ser advertido y medido de la misma manera.

En último término, se obtuvo una información similar en cada fábrica contando el número de revoluciones por minuto de los tornillos alimentadores de carbón, durante el tiempo que se extraía gas del extremo del horno, con objeto de analizarlo mediante el aparato de Orsat.

El autor considera, sin embargo, que para su uso continuo, un registrador de O₂ cuidadosamente instalado e inspeccionado, suministraría datos muy valiosos en muchas fábricas de cemento.

Mediciones de la temperatura.

Las mediciones más importantes se realizaron mediante termo-pares de cobre constantan, encerrados en vainas de acero. Se usaron conjuntamente con registradores de filamento (cuádruple, doble y sencillo) y un indicador portátil. Las temperaturas inferiores a 175° C, si no se deseaba un registro continuo, se tomaban, siempre que era necesario, con mercurio, en termómetros de vidrio.

Gases de salida del horno.—El pirómetro para los gases de salida del horno no debiera colocarse a más de 15 cm. de distancia del extremo exterior del horno, enfrente del centro de la abertura, a cada lado de la tubería de pasta, alternativamente. Esto da una lectura promedia que es suficiente para la marcha corriente del trabajo. Si el extremo del pirómetro puede "ver" la superficie húmeda y relativamente fría de la pasta del extremo del horno, la

lectura podrá resultar algo baja. El alcance del error se está investigando actualmente.

Entre el extremo del horno y la base de la chimenea, la temperatura de los gases de escape decrece rápidamente, debido a las infiltraciones de aire frío en los conductos de humos. De ahí que también se observara la temperatura en la base de la chimenea.

Pirómetro para la temperatura de la superficie.—Para medir la temperatura superficial de la cubierta del horno y de la del enfriador, en distintas posiciones, anteriormente al cálculo de la pérdida por radiación, se empleó el tipo de pirómetro indicado en la fig. 9 (pág. 424). Los alambres de cobre y constantan, que formaban el par termo-eléctrico, se empotraron para formar la soldadura caliente, en un disco de cobre de un diámetro de 15 mm. y de un grueso de 2½ mm. La vaina del pirómetro se desnudó en la forma indicada, y el extremo abierto se cerró con empaquetadura de asbesto. El resto de la vaina era del modelo corriente. Para obtener la lectura de la temperatura superficial, se paró el horno durante unos 30 segundos, y se aplicó el disco de cobre contra la cubierta, limpiando previamente todo polvo, suciedad u oxidación. El disco de cobre se calentaba por su cara anterior, por conducción, y se enfriaba por su cara posterior, por radiación y convección, pero, realizando el debido contacto con la cubierta del horno, es probable que el error no excedería de uno o dos grados. Tan pronto como la anotación del indicador se hace constante, debe moverse el disco unos 5 cm. a lo largo de la cubierta, y generalmente, se obtendrá una indicación ligeramente superior. Para estas observaciones, es conveniente disponer de un sistema de conductores compensadores, de unos 9 m. de largo. El método de cálculo, basado en las mediciones de la temperatura en la cubierta, para deducir la radiación del horno y del enfriador, se describirá más adelante.

Pirómetro de aire caliente.—No se puede, en la práctica, medir la temperatura del aire que entra en el horno, procedente del enfriador, por medio de un pirómetro ordinario, insertado en la base de la caperuza del horno, porque la radiación del clinker que cae y de las superficies calientes de los refractarios adyacentes, hace que la temperatura registrada sea demasiado elevada. Un efecto similar puede observarse sosteniendo un termómetro de mercurio próximo a un hogar corriente; se registrará una temperatura muy elevada, debido al calor irradiado por el fuego, aunque el aire que entre en la parrilla esté, aproximadamente, a la temperatura de la habitación.

Después de muchos experimentos, el método finalmente adoptado fué extraer, por medio de una bomba, una pequeña cantidad de aire caliente del tubo de caída del clinker, o de la base de la caperuza del horno, y medir su temperatura cuando el efecto del calor radiante ya estaba eliminado. Esta disposición se ve en la fig. 10 (pág. 424), en la que el aire caliente que sale del enfriador se extrae de la base de la caperuza del horno. La temperatura medida está comprendida, habitualmente, entre los 300 y 425° C.

En la posición en que se usa el pirómetro, la temperatura registrada será demasiado baja, si no se toman medidas para evitar la radiación a la atmósfera desde la superficie que rodea próximamente el par termo-eléctrico. Cada tubo del dispositivo del manguito múltiple se calienta por convección, a causa de la circulación inducida, pero el calor de esta manera comunicado debe ser radiado de un tubo a otro, y finalmente, todo él por la superficie externa del tubo exterior. De ahí que, montando un número suficiente de tubos, el error debido a la pérdida por radiación pueda quedar limitado a ½ ó 1° C. Generalmente, se obtiene una lectura constante del indicador, después de haber hecho funcionar el extractor durante unos seis a siete minutos.

Mediciones del aire.

Las mediciones de aire necesarias son, generalmente, la cantidad de aire que entra en el horno por: (a) la tubería del mechero de carbón; (b) el conducto de descarga del clinker; (c) el escape por el anillo de cierre; (d) las tuberías o puertas de aire caliente.

En muchas fábricas, hay un sistema de tuberías, por cuyo medio se suministra aire caliente, a los efectos de la desecación, desde el enfriador al secador de carbón, o bien puede emplearse un hogar aparte. El aire caliente suele hacerse pasar, tanto por la parte exterior de la cubierta del secador como por su interior. A menudo, es necesario medir la velocidad del caudal de aire caliente en tuberías o pasos de la índole descrita.

Observaciones generales sobre la circulación de aire.—Supongamos que tenemos una tubería o conducto (A, fig. 11, pág. 424), a través de la cual corre el aire uniformemente, en el sentido de la flecha, e insertemos tubos de latón con extremos de la forma debida, conectándolos con un tubo en U, de nivel de agua, D. Los extremos del tubo se ven en una escala mayor en la fig. 12 (pág. 426). El tubo B, que termina en un disco o arandela de latón, paralelo a la dirección de la corriente de aire, transmitirá al nivel de agua D la presión estática, o compresión del aire. El tubo C, que tiene un extremo acodado, que da frente a la corriente de aire, transmitirá, además de la presión estática, la presión debida a la velocidad del aire en el tubo A. De ahí que, el nivel de agua D, que mide la diferencia entre las presiones de los dos tubos, indicará la presión (o altura de carga), debida solamente a la velocidad. El disco de latón al extremo del tubo B ha demostrado ser necesario y suficiente para impedir la indicación inexacta de la presión estática que produciría la acción inductiva.

La disposición de colocar el tubo acodado C, de frente en la fig. 11 (pág. 424), fué introducida por Pitot, y el disco al extremo del tubo estático B, por Darcy, pero en honor de la brevedad, designaremos con el nombre de tubos de Pitot, en este artículo, cualquier combinación de tubos para la medición del aire.

La medición, en centímetros de agua, de la presión debida a la velocidad del aire, es lo que comúnmente hace falta en la práctica; con este dato puede calcularse en la forma que vamos a describir, la cantidad de aquéllo que circula por un conducto o tubo. Se ha visto, sin embargo, que hace falta una forma especial y más perfeccionada del nivel de agua D, porque muchas de las observaciones hechas no exceden de 5 mm. de columna de agua.

En la fig. 12 (pág. 426) se muestra una disposición de tubos de Pitot, adecuada para la medida de la velocidad del aire en el tubo de descarga de clinker de un horno rotatorio. Como los tubos están sometidos a una alta temperatura, no son admisibles las soldaduras de latón, de ahí que se emplee una forma de construcción muy sencilla, sin orificios pequeños que puedan atascarse por el polvo, que siempre abunda en la descarga del clinker. La longitud total de los tubos vendrá a ser de unos 1.25 m., empleándose tres sujetadores.

Para enfriar con aire frío, libre de polvo, el Laboratorio Físico Nacional Inglés ha ideado una disposición más concentrada de los tubos de Pitot.

En la fig. 13 (pág. 427) se ve un sólido modelo, variante del tipo anterior, adecuado para su uso en las fábricas de cemento. La presión total se mide por el tubo interno A, que está dispuesto de modo que puede en frente de la corriente de aire, al paso que la presión estática se observa por medio de los agujeritos perforados en el tubo externo B. El tubo A, y el espacio

entre los dos tubos, están conectados separadamente, uno a cada rama del nivel de agua, mediante tubos de caucho que se adaptan en las terminales c y d. Las juntas están soldadas (no con soldadura amarilla), de modo que resistan la inmersión en el aire o en los gases calentados hasta 450° ó 500°C. La disposición de tubos de Pitot de la fig. 12 (pág. 426), se usa, generalmente, para las mediciones de aire en los conductos de ladrillo, ya que puede hacerse de la longitud que convenga. La forma reproducida en la fig. 13 (pág. 427) se usa para las tuberías y chimeneas de plancha de acero.

Nivel de agua ajustable.—La presión, medida en columna de agua, que produce la velocidad del aire en los distintos tubos y chimeneas de una fábrica provista de hornos rotatorios (excepto la tubería del mechero del carbón), acostumbra a escalonarse entre 2 cm. y 0.025 cm., o menos, y la forma especial de nivel de agua empleado, está reproducida en las figs. 14, 15 y 16 (pág. 428). Se acompaña una tabla de referencias. En principio, el aparato es un nivel de agua corriente, de tubo en u, consistiendo las modificaciones en que se emplea un microscopio para observar el nivel de agua en una de las ramas, y una disposición micrométrica, adaptada al microscopio, para medir el desplazamiento del nivel de agua, cuando se ha de hacer una observación. Los recipientes de vidrio A_1 y A_2 , junto con el tubo conector B, vienen a constituir el tubo en u corriente.

Se verá que el marco superior de hierro que sostiene los recipientes de vidrio está apoyado en tres puntos. Sobre los apoyos descansan unos vaciados de poca profundidad, de forma cónica ligeramente truncada o aplanada en el vértice, que permiten, así, un pequeño grado de libertad en sentido lateral. Los marcos superior e inferior están mantenidos uno con otro por el resorte K.

Para conectar los tubos de Pitot, emplazados en la tubería o conducto con el nivel de agua, se emplean dos trozos de tubo de presión de caucho fuerte, de 6 mm. de diámetro y unos 6 m. de largo. Los extremos del tubo de presión se adaptan a las conexiones de comunicación Q_1 y Q_2 , que se ven de la fig. 15 (pág. 428). Por medio de agujeros taladrados en la pieza de fundición r, y de los tubos ligeros de caucho P_1 y P_2 , se establece una comunicación adecuada con los dos recipientes de vidrio A_1 y A_2 . De esta manera, el esfuerzo de tracción de los dos tubos largos de caucho carga directamente sobre el trípode, y no sobre los recipientes de vidrio.

Para efectuar una observación, el trípode se coloca en posición conveniente, quitando los enchufes Q_1 y Q_2 . El nivel del microscopio se ajusta, aproximadamente, sobre el soporte M, y la rueda H se hace girar hasta que el nivel de agua en el tubo A_2 aparezca exactamente tangencial al hilo horizontal del retículo del microscopio. Se anota entonces la indicación del micrómetro. El nivel de agua, con la iluminación adecuada, aparece en el microscopio como una línea indefinida, curva e invertida, cuando se mira en L, y su posición puede registrarse con gran precisión merced al hilo horizontal del retículo del microscopio. Esta es una de las principales ventajas del aparato. Manteniendo los tubos de Pitot en la posición debida en la tubería o conducto, se conectan, entonces, los enchufes Q_1 y Q_2 , y, suponiendo que el tubo de velocidad se conecta a Q_1 , el nivel de agua en el recipiente de vidrio A_1 descenderá, y ascenderá el nivel de agua en A_2 . El tubo de vidrio A_2 se hace subir, ahora, por medio de la rueda H, y el agua pasa, desde A_2 a A_1 . A causa de la posición de los soportes G_1 y G_2 , el nivel del recipiente de vidrio A_1 no se altera. El movimiento de la rueda continúa hasta que la superficie del agua en A_2 vuelva a ser tangencial al hilo horizontal del retículo del microscopio. Se toma entonces una nueva indicación de la rueda micrométrica. La posición del agua en cada uno de los recipientes A_1 y A_2 , por lo

que respecta al nivel medio, es exactamente la misma de antes de conectar las comunicaciones Q_1 y Q_2 , y la verdadera altura de carga de agua, que equilibra la velocidad que se quiere determinar, queda medida por el desplazamiento de la rueda H, que fué preciso para volver a enrasar. Sin embargo, no estando el eje de la rueda H precisamente en la misma línea del centro del recipiente de vidrio A_2 , todas las indicaciones han de multiplicarse por una constante adecuada, que en este caso es

$$\frac{14}{13.125} \text{ (fig. 14, pág. 428).}$$

Para permitir ver claramente el nivel de agua a través del microscopio, suele disponerse un espejo, a fin de concentrar la luz allí donde hiciera falta, pero para uso en las fábricas de cemento, en el interior de los edificios en que la luz del día es escasa, el autor encuentra generalmente preferible colgar una luz eléctrica portátil a corta distancia del microscopio, precisamente en la misma línea del rayo visual.

Un modelo muy fino de nivel de agua ajustable, montado sobre tres tornillos niveladores, ha sido muy empleado por el Laboratorio Físico Nacional de Inglaterra, y el modelo mucho más sólido (montado sobre un trípode) de los grabados de este artículo, está basado en dicho aparato. Se construyó bajo la dirección del autor, para uso en las fábricas de cemento.

Fig. 8 (pág. 421), Pesador rotatorio del clinker: A, tambor rotatorio; B, palancas laterales que llevan los soportes del tambor y la arista de cuchilla; C, palanca central que lleva las pesas; D, barra de distancia; E, estructura fija de la máquina; F, dispositivos de retención empernados a cada marco lateral; G, cuatro topes en cada placa terminal del tambor; H, palanca con registro de resorte; I, placa de guarda; J, contador reversible. Fig. 9 (pág. 424), Pirómetro para la temperatura de superficies. Fig. 10 (pág. 424), Pirómetro de aire caliente: A, vaina del pirómetro con cabeza de porcelana y tres aletas de soporte; B, par termo-eléctrico de cobre-constantan; C, tres alambres de soporte para el par; D, cuatro tubos de acero pulimentado, separados uno de otro, y fijos al tubo exterior E; E, tubo exterior de acero; F, conexión con el ventilador aspirador accionado a mano; G, tubo empotrado en la base de la caperuza del horno; H, anillo de empaquetadura de amianto; I, anillo de sección angular, fijo al tubo E. Fig. 11 (pág. 424), Diagrama de la corriente de aire en un tubo. Fig. 12 (pág. 426), Tubos de Pitot para la descarga de clinker. Fig. 13 (pág. 427), Tubo de Pitot, modelo fuerte Laboratorio Físico Nacional.

(Continuará.)

Modo de conducirse del cemento, de los agregados inertes y del hormigón a elevadas temperaturas.*

por el Dr. RICARDO GRÜN y el Dr. HUGO BECKMANN (Düsseldorf).

A CONSECUENCIA de las dimensiones cada vez mayores de las construcciones modernas, especialmente en lo que a su altura se refiere, adquieren también importancia creciente las medidas de seguridad contra el incendio, así como la resistencia del hormigón contra la acción del fuego, ya que, al aumentar la

* Conferencia dada en la 8ª sesión plenaria de la Comisión para el aprovechamiento de las escorias de los altos hornos, de la Asociación de Metalúrgicos alemanes, en Düsseldorf, el 19-11-1929.

altura de las edificaciones, las cargas a la compresión que actúan sobre los elementos de sustentación crecen constantemente, debiéndose exigir a tales elementos sustentadores (los de los rascacielos, por ejemplo) la capacidad de resistir, incluso durante horas enteras, la acción del fuego, sin romperse bajo la acción de la carga que les impone el edificio que sobre ellos gravita, porque en el caso de ceder los apoyos de un edificio de gran altura, por ejemplo, a causa de haberse iniciado un incendio en su primer piso, se tendrían que lamentar daños incalculables. En la práctica, las construcciones de hormigón han presentado una gran resistencia al fuego en los casos de incendios, dando resultados mucho más satisfactorios que construcciones de hierro de análoga importancia.

Asimismo, casetas de ensayo, sometidas a la acción del calor, han dado, por lo general, resultados sorprendentemente buenos. En el laboratorio se ha estudiado, mediante numerosos y circunstanciados trabajos, la mayor o menor conveniencia de diversos materiales inertes para servir de agregados, en atención a la estabilidad de volumen. Lo mismo se ha hecho para poner bien en claro lo relativo a las variaciones de volumen del cemento ya fraguado.

Han sido pocos, sin embargo, los estudios sistemáticos realizados acerca de la influencia de la acción del fuego en la resistencia a la compresión del hormigón. Para ello se prepararon hormigones y morteros con gran número de cementos diferentes y de distintos agregados inertes; se los expuso a temperaturas progresivamente crecientes; y finalmente, se determinó la resistencia a la compresión, tanto de los hormigones desmoronados, como de los que habían resistido la prueba. A continuación reseñaremos, en primer lugar, los resultados de los ensayos ya realizados; luego diremos algo acerca de los resultados de las nuevas investigaciones que se efectúan en el Instituto de Investigación. Como el hormigón se compone, en primer término, de cemento, y luego de agregados inertes, trataremos primero del modo cómo se conducen los cementos, a continuación los agregados inertes sin cemento (o sean las piedras solas), y finalmente, el modo de conducirse de los hormigones completos.

La discusión comprenderá: 1º, el modo de conducirse desde el punto de vista químico, viendo en primer término: (a) la pérdida de agua en función de las elevaciones de temperatura y de la duración de la acción del calor; y después, (b) la pérdida de anhídrido carbónico en cada caso.

2º, el modo de conducirse desde el punto de vista físico, a saber: (a) variación de volumen; y (b) cambios en las resistencias.

Cemento.—La pérdida de agua del cemento ya fraguado, que, según se sabe, puede retener, cuando está puro, hasta un 2% o un 28% de agua, depende, en primer lugar, de la elevación de la temperatura que se alcance en el calentamiento a que se someta el material; depende, además, como es natural, del tiempo que actúen las temperaturas en cuestión. Endell ha realizado ensayos muy concienzudos sobre esta materia, determinando en ellos las pérdidas al fuego de los cementos Portland a diversas temperaturas, así como, también, su dilatación lineal producida por efecto del calor.

El curso o trazado de las curvas de la fig. 1 (pág. 431) indica que la pérdida al fuego de los cementos Portland endurecidos, cuando se les somete a la acción del calor durante una hora, depende de la elevación de la temperatura alcanzada, y que, alrededor de 1000º la deshidratación y descarbonatación logradas son ya completas.

Es sorprendente que, hasta unos 300º, la pérdida de agua de los cementos Portland W₁, W₂, W₃, W₄, crece rápidamente, y en cambio, luego, hasta 500º, no se produce ninguna alteración. Esta circunstancia, que Endell no menciona, parece indicar que parte del agua es eliminada en el calentamiento hasta 300º, después de lo cual, ya no tiene lugar modificación alguna hasta rebasar los 500º.

El trazado de las curvas del calentamiento uniforme del cemento Portland fraguado, y del hidrato calcico, representa el de las curvas obtenidas también

por Endell en los trabajos ya mencionados (fig. 2, pág. 431). Se marcan en ellas con claridad y precisión puntos de detención a 530° , que permiten suponer que a esa temperatura se produce una eliminación de agua, de mayor viveza o intensidad, en el cemento Portland, teniendo lugar, en consecuencia, una alteración o modificación esencial en su estructura.

Hasta la fecha se desconoce hasta qué punto la pérdida de anhídrido carbónico acompaña a las pérdidas de agua en el cemento Portland. Las investigaciones hasta ahora realizadas se limitan, tan sólo, a fijar la posición de los puntos de detención y de las pérdidas al fuego. En cambio, existen cifras relativas al modo de conducirse físicamente los cementos Portland puros una vez fraguados, puesto que Endell midió la contracción y dilatación de los cementos Portland al crecer la temperatura. Las curvas fig. 3 (pág. 431), manifiesta el trazado de las curvas obtenidas por Endell, las cuales indican que, en primer lugar, se produce un ligero aumento de volumen del cemento Portland que se calienta, que deja de observarse de 200 a 300° , anulado por una fuerte contracción, debida a la eliminación del agua combinada, contracción que, no sólo compensa la dilatación térmica, sino que aún produce una disminución de volumen resultante.

No se ha estudiado, hasta ahora, la variación o alteración de las resistencias que, bajo tales circunstancias, experimentará la pasta pura de cemento, y que indudablemente es de importancia, por lo cual, debería ser incluido dicho estudio en los programas de ensayos.

Agregados inertes.—La considerable resistencia del cemento puro a la acción del calor permite, de antemano, deducir que los graves deterioros experimentados en los incendios por algunos edificios o construcciones, no deben atribuirse a falta de resistencia al fuego, del material aglomerante, sino antes bien al desfavorable modo de conducirse de los agregados inertes. Así, por ejemplo, en los grandes ensayos de incendios llevados a cabo por Gary en Grosslichterfelde, se sometieron a la acción del fuego casetas construidas con la misma clase de cemento todas ellas, y variando los tipos de agregados inertes, se vio que, mientras aguantaban bien los muros en que se había empleado la grava silícea, el basalto, etc., los contruidos a base de granito como agregado inerte, se produjeron fuertes dislocaciones y fenómenos análogos a los producidos por explosiones.

Es, por consiguiente, absolutamente indispensable someter a concienzudos ensayos, y de un modo especial, a los agregados inertes. Existen ya numerosos datos de experiencia relativos a ese punto, procedentes, tanto de los investigadores norteamericanos, como de los alemanes. Empecemos por tratar del modo de conducirse de los agregados inertes, desde el punto de vista químico. En primer lugar, es interesante conocer, en cada caso, la pérdida de agua de la mica, por ejemplo, sobre la cual no hay todavía datos de experiencia. Es posible suponer, también, que la mencionada dislocación del granito, y los fenómenos de tensión que la acompañan, sean atribuibles a ese desprendimiento de agua en el interior del agregado inerte. Con relación al comportamiento químico del material, parece ofrecer importancia el desprendimiento de anhídrido carbónico, que en los ensayos de Endell dió lugar a marcados fenómenos de contracción. La fig. 4 (pág. 431) indica las dilataciones lineales de calizas blancas o conchíferas (Muschelkalk) del Sur de Alemania, cristalinas, de grano fino, representadas en función de la temperatura. La parte indicada de trazos en las curvas representa una porción en que el trazado es dudoso, a causa del desprendimiento de anhídrido carbónico.

Con la mayor parte de los agregados inertes (excepción hecha del carbonato cálcico) sucede que el proceso físico adquiere mayor importancia que el proceso químico, pues origina alteraciones de volumen y de las resistencias.

La variación de volumen de diversos agregados inertes, antes de su empleo en la preparación del hormigón, ha sido también estudiada por Endell, sobre

5 materiales diferentes: granito, diabasa, basalto, arenisca y escorias de altos hornos. La fig. 5 (pág. 431) indica la dilatación producida por el calor y la contracción causada por el enfriamiento en los citados materiales. El valor residual que se observa después del enfriamiento representa la dilatación lineal remanente. Las escorias de altos hornos son las que presentan la mínima variación de volumen; la arenisca se conduce, también, en forma bastante ventajosa; en cambio, el basalto, la diabasa y el granito, ofrecen dilataciones térmicas aproximadamente iguales y relativamente importantes, ya que vienen a ser de valor cuádruple del de la dilatación térmica correspondiente a las escorias de altos hornos.

Respecto a la alteración de la resistencia de los agregados inertes, bastará con los datos que citaremos en el siguiente párrafo, encabezado con el título "Hormigón."

Hormigón.—El modo de conducirse de un hormigón, desde el punto de vista químico será el resultante de los modos de conducirse químicamente de los materiales que entran en su formación, a saber, los agregados inertes y el cemento fraguado. No es de esperar que el modo conducirse del hormigón presente nuevos fenómenos; no hace falta insistir en el estudio químico de su comportamiento, pues, si nada nuevo puede ofrecernos.

El comportamiento físico de un hormigón no puede, en cambio, ser previamente deducido de las propiedades correspondientes de sus componentes, ensayados por separado (cemento y agregados), ya que el hormigón representa un producto dotado de propiedades físicas totalmente diferentes de las de sus componentes aislados. El cemento presenta, al calentarlo en forma de cemento puro, dosis muy diferentes de anhídrido carbónico y agua, que cuando forma parte del hormigón, y los agregados inertes se hallan en el hormigón en diversos tamaños granulométricos, que influyen en su resistencia, contracción y dilatación; mientras que, al ser ensayado un agregado inerte por separado, los fragmentos están todos al descubierto, y son accesibles a la medición por separado.

En cierto grado, la variación de volumen será consecuencia de las variaciones de volumen de los agregados y de las del cemento. Como ya se ha visto en las precedentes tablas de curvas, todos los agregados inertes se dilatan bajo la acción del calor; los cementos, en cambio, se contraen. En consecuencia, y dado que aquella dilatación, por lo regular, es de mayor importancia que esta contracción, los hormigones, sin excepción, presentarán también una dilatación, que será, sin embargo, menor que la de los agregados inertes componentes. Esta presunción pudo ser comprobada, efectivamente, por Endell en su trabajo.* Indicó que, los agregados cuarzosos, al llegar a unos 575° ocasionan una rápida dilatación del hormigón, a causa de la transformación $\alpha \rightarrow \beta$ del cuarzo, mientras que la escoria cuprosa de Mansfeld, el basalto y la diabasa, a 1000° producen entumecimientos en el hormigón, debidos al desprendimiento de gases, y por el contrario, los agregados calizos dan lugar a contracciones a 900°, a causa del desprendimiento del anhídrido carbónico. La escoria de altos hornos constituye una excepción, pues sólo origina una pequeña y uniforme dilatación del hormigón con ella fabricado. En las curvas (fig. 6, pág. 431) se han reunido, para su comparación, las curvas características del hormigón hecho con piedra cuarzosa, con piedra volcánica, con una piedra caliza y, finalmente, con escorias de altos hornos. En ellas se ha representado gráficamente la dilatación lineal, referida a la temperatura.

Indudablemente, son las alteraciones de las resistencias las que desempeñan el papel más importante en el caso de un edificio sometido a la acción del fuego a causa de un incendio. Es natural, por lo tanto, que se hayan ya

* "Ensayos acerca de la variación de longitud y de estructura de los agregados inertes del hormigón y del mortero de cemento, bajo la acción de temperaturas hasta 1200°." Vol. 50° de la Comisión Alemana del Hormigón armado.

realizado sobre el particular numerosos ensayos, destinados a averiguar en qué grado la resistencia quedaba afectada por la acción del calor, a distintas temperaturas.

Sutcliffe calentó probetas de mortero y de hormigón, y halló que la resistencia a la tracción disminuye en un 44-80%, según la clase de agregado inerte. Nitzsche encontró mermas aún mayores en las resistencias a la tracción, cuando dijo que éstas, al cabo de 120 horas de acción del fuego, bajaron a $\frac{1}{4}$ ó $\frac{1}{3}$ de su valor primitivo.

De las investigaciones de Woolson sobre la resistencia a la compresión, resulta que esta clase de resistencia, en el hormigón hecho con piedra volcánica, retrocede al 88% de su valor, bajo una temperatura de 500°, al paso que baja hasta el 58%, para la misma temperatura, si se emplea en él la piedra caliza. Contrapuestos a esos resultados son los de Steppes, que, con piedra basáltica y 500°, señalan un incremento de resistencia de un 15%. También se encuentran contradicciones en otros trabajos y artículos; así, por ejemplo, Gary, en los ensayos de incendios efectuados por la Comisión Alemana del Hormigón armado, en casas de dos pisos, comprobó que, entre las probetas extraídas de puntos castigados por el fuego, y las sacadas de puntos a que el fuego no había llegado, no se notaba la menor disminución de la resistencia a la compresión, en los casos en que el agregado inerte era basalto o granito, y sólo el hormigón de grava silícea había perdido $\frac{1}{4}$ de su resistencia. En los ensayos de incendios de la torre de bomberos de Gesolei, que se llevaron a cabo a instancias del citado autor en el año 1927, se comprobaron, al ensayar las resistencias a la compresión del hormigón, descensos en aquellas resistencias, de alrededor del 30%, hasta una profundidad de 10 ó 12 cms. En cambio, en la parte central o núcleo de las columnas o pilares de hormigón, no se halló casi pérdida alguna de resistencia.

Ante esos contradictorios resultados, pareció conveniente efectuar nuevos ensayos de la acción del fuego sobre diversos cementos y diferentes clases de agregados inertes, sobre probetas cúbicas normales, en un aparato o dispositivo adecuado para el caso, toda vez que ni siquiera los numerosos ensayos norteamericanos han conseguido aportar una solución clara y definitiva al problema, antes bien, han servido para suministrar una lista de resultados que discrepan de los hallados en Alemania, relativa a la mejor o peor conveniencia de unos u otros agregados inertes, desde el punto de vista de su inalterabilidad bajo la acción del fuego. En esos ensayos, no se limitó la experimentación a los agregados cuarzosos y calizos, sino que se ensayaron, también, especialmente, las escorias de altos hornos, ya que éstas, en los ensayos de Endell, fueron las que mejor resultado dieron, por ocasionar tan sólo una pequeña y uniforme dilatación.

Los ensayos fueron efectuados sobre probetas normales, que se compusieron a base de los diferentes tipos y clases de agregados inertes, cuyo tamaño máximo era de 5 mm., y cuya composición granulométrica respondía a la curva de Fuller, y a la curva de volumen de poros, y que se amasaron según las diferentes dosificaciones. Las probetas, después de su preparación, se tuvieron 7 días en aire húmedo. Para su calentamiento, se empleó un horno de mulla, de gas, alimentado con el gas del alumbrado público, inyectado con un ventilador (fig. 7, pág. 433). De las probetas, unas se extrajeron del horno caliente todavía, mientras que otras se dejaron enfriar dentro del horno mismo, y algunas, incluso, fueron enfriadas bruscamente en agua. Las formas de tratamiento aplicadas en cada caso se hallan especificadas.

El ensayo de estabilidad de resistencias fué llevado a cabo en el aparato de Steeger-Endell, sobre probetas preparadas a consistencia de tierra húmeda, y con la dosificación de 1:3 de agregado silíceo. Los resultados están reunidos en la tabla de curvas (fig. 8, pág. 434). La altura de la probeta

de ensayo está indicada en función de la temperatura, para el mortero 1 : 3 de cemento de altos hornos, o de cemento Portland y arena cuarzosa. Los ensayos fueron efectuados en el Instituto de Investigación de las Acerías Reunidas de Dortmund.* La marcha de las curvas indica que, tanto el hormigón de cemento de altos hornos como el hormigón de cemento Portland, aguantaron la carga prescrita, de 2 kg. por cm², hasta unos 1150°; más allá de esta temperatura, relativamente elevada, las probetas empezaron a desmoronarse.

Para determinar el modo como actúa sobre el cemento la escoria de altos hornos, se confeccionó un cemento puzolánico, en el que, como puzolana, se empleó la escoria de altos hornos, obteniéndose, así, el cemento de altos hornos A, de la tabla 1 (pág. 440), que se ensayó comparativamente con el cemento Portland W, de la tabla 2 (pág. 440). Para las cualidades de los cementos, véase la tabla 3 (pág. 441).

Se amasaron, con diferentes agregados inertes, arena cuarzosa, basalto, diabasa y granito. La fig. 9 (pág. 434) indica el trazado o marcha de la curva de la resistencia a la compresión, en % de la resistencia inicial, para los 4 tipos de agregados inertes, tanto para el mortero de cemento de altos hornos, como para el mortero de cemento Portland 1 : 3, en función de la temperatura. Las probetas fueron introducidas frías en el horno caliente, y enfriadas al aire, a la temperatura ordinaria. Las probetas eran de 7 días, circunstancia que se indica también en las tablas numéricas 1 y 2. El curso de las curvas indica, en forma bien marcada, que al calentar el hormigón de cemento de altos hornos, en la gran mayoría de los casos, se produjo al principio un aumento de la resistencia, mientras que con el cemento Portland, el calentamiento a 300°, en casi todos los casos, hizo descender las resistencias al 80-90%. A temperaturas más elevadas, el granito es el que da, en ambos casos, peores resultados. Los ensayos coinciden, por consiguiente, con las observaciones del Laboratorio de Ensayo de Materiales.

Si se elimina la influencia del agregado inerte, sumando las cifras obtenidas a una misma temperatura, sin preocuparse de la clase de agregado inerte,

* Expresamos desde aquí nuestro cordial agradecimiento a los Prof. Schulz y Dr. Hartmann, por la cooperación amistosa que nos han prestado.

NOTA DEL EDITOR.

EL Editor de "CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE" Internacional invita a los lectores de esta Revista a enviar artículos para su publicación. El original puede estar en español, inglés, francés o alemán, y será traducido a los otros tres idiomas por traductores especialistas.

Se admiten artículos sobre toda clase de ideas o progresos nuevos de fabricación, química o ensayo de cementos, o de asuntos relacionados con el cemento de interés general para su industria. También se desean descripciones y grabados de nuevas fábricas de cemento en todas partes del mundo.

Se invita también a los constructores de maquinaria para la fabricación del cemento a que envíen datos y grabados referentes a las nuevas fábricas instaladas por ellos, y a las nuevas instalaciones de sus propias fábricas.

Todos estos artículos deben dirigirse a: The Editor, "CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE," 20, Dartmouth Street, Westminster, London, S.W.1, Inglaterra, por correo certificado.

y se saca el promedio, se obtienen las curvas de la fig. 10 (pág. 434), de las cuales se desprende claramente que, efectivamente, el cemento de altos hornos, al principio del calentamiento, experimenta aumentos de resistencias. Es evidente que hay que atribuir este fenómeno a que la escoria de altos hornos, a elevada temperatura, interviene en el endurecimiento, y por tal motivo, aumenta la resistencia.

Las probetas de cemento de altos hornos del ensayo descrito están reproducidas en la fig. 11 (pág. 436). La serie de arriba representa los cubos, antes de la acción del fuego; los de las series siguientes, las probetas que se tuvieron 2 horas a la acción del fuego, y a las temperaturas que se indican. El mal resultado obtenido con la arena cuarzosa y con el granito se ve con toda claridad. La causa del retroceso de la resistencia se puede comprobar bien claramente, mediante un ensayo de la densidad aparente. La fig. 12 (pág. 436), indica claramente el aligeramiento que experimenta el material, al aumentar la temperatura. La tabla de curvas indica, además, la variación del peso específico y de la porosidad, deducida de este último y de la densidad aparente. La causa del aligeramiento es, sin duda, la adquisición de una estructura porosa, como puede fácilmente apreciarse en las figs. 13 y 14 (pág. 436). En ellas se representan, en preparación microscópica delgada, muestras de probetas con arena cuarzosa, antes y después de sometidas a un calentamiento de 1100°.

Para averiguar al grado de influencia que puede tener la duración de la acción del fuego sobre hormigones con iguales tipos de agregados, pero con diferentes clases de cementos, se sometieron las probetas a 10 horas de tratamiento, una vez a 300°, otra a 500° y otra a 700°, determinando las resistencias de 2 en 2 horas. Las curvas de la Fig. 15 (pág. 437) indican lo siguiente (en % de las resistencias de probetas no expuestas al fuego): también en este caso, el calentamiento a 300° da por resultado un marcado aumento de resistencia del cemento de altos hornos, aumento de resistencia que tiene lugar al cabo de 2 horas, precisamente; luego, la curva sigue casi horizontal. Por el contrario, con el cemento Portland, tiene lugar una disminución de las resistencias, que alcanza ya su máximo a las 2 horas. A 500° se ve que el cemento que contiene escorias de altos hornos compactas ha sufrido, también, menos que el cemento que no contiene dichas escorias. Para

"CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE"

INTERNACIONAL

(El cemento y su fabricación).

Tarifas de subscripción.

A CAUSA del considerable aumento en el coste de la publicación de "CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE" en su nueva forma, ha sido necesario aumentar su precio a 2 chelines el ejemplar. La tarifa de subscripción anual (incluyendo gastos de correo a cualquier punto del mundo) es de 24 chelines. Los actuales subscriptores que figuran en nuestra lista de subscripciones pagadas por adelantado continuarán recibiendo los ejemplares a la tarifa antigua hasta la expiración de su actual subscripción.

Las subscripciones anuales deben enviarse a "CEMENT AND CEMENT MANUFACTURE," 20, Dartmouth Street, London, S.W.1, Inglaterra, y a su recibo se enviará regularmente un ejemplar cada mes por toda la duración de la subscripción.

este último se llega ya al grado máximo de deterioro a las 4 horas, en tanto que el cemento que contiene escorias de altos hornos compactas necesita más tiempo (unas 6 horas) para llegar a su punto más bajo.

Calentando hasta 700°, el cemento de altos hornos tiene ya a las 2 horas una pérdida de resistencia, que la reduce al 30% de la resistencia inicial de dicho cemento. El punto más bajo, que se alcanza al cabo de 10 horas, representa una resistencia restante del 20%. La curva del cemento Portland sigue un curso análogo; en otros términos, al aumentar la temperatura, se llega antes al deterioro máximo, después de lo cual pérdida aumenta lentamente.

Como tipos de agregados inertes para los ensayos siguientes, fueron empleadas las escorias de altos hornos en mayores proporciones. Los análisis de esas escorias de altos hornos son los que figuran en la tabla 4 (pág. 441). En esta serie de ensayos se operó de manera que las probetas se introducían en el horno cuando éste se hallaba frío todavía, dejando luego enfriar parte de ellas dentro del horno y enfriando las otras en agua. Se calentaron, en cada caso, a 300, 500, 700 y 900°. Otra serie de probetas se calentó con vapor de agua a 100°. Las cifras absolutas se han reunido en la tabla No. 5 (pág. 441), pero los valores relativos son los que condujeron a la Fig. 16 (pág. 437). Las probetas empleadas tenían 4 días (curación: 3 días en agua y 1 día al aire), y fueron amasadas a razón de 1:4, según la curva de Fuller, con piedra natural y escorias de altos hornos. El calentamiento se prolongó 2 horas. La tabla 5 (pág. 441) indica las resistencias, antes y después de la acción del calor.

Para las temperaturas de 300° en adelante, se dan los resultados, primero para el caso de enfriamiento lento, y luego para el de enfriamiento rápido. Los valores relativos de la Fig. 16 (pág. 437) sólo se refieren al caso de enfriamiento lento. La marcha de la curva indica lo siguiente:

Con los agregados inertes naturales tiene lugar aquí, tanto a 100° como a 300°, un ligero aumento de resistencia, atribuible, indudablemente, a haber empleado cemento de altos hornos. Al calentar a 500°, las resistencias caen al 45-55% del valor inicial, especialmente cuando se usa cuarzo y basalto; a 700°, las resistencias son ya tan sólo de 20 a 25%, a 900°, sólo de 8 a 18% de sus valores de origen.

Las escorias de altos hornos se diferencian unas de otras, en que las escorias normales de altos hornos Rh, Vn y Gh correspondían a trazados rectilíneos, mientras la escoria Gm era ligeramente espumosa, y no correspondía a un trazado rectilíneo.

Las curvas indican que, en este caso, la elevación de resistencias a 300° aparece de forma aún más marcada que cuando el agregado inerte es natural, siendo ésto una prueba de que, a dicha temperatura, a la cual el agua no ha sido todavía expulsada del hormigón, tiene lugar, efectivamente, una reacción que ocasiona el aumento de resistencia. A 100° no se observa todavía ninguna pérdida de resistencias; en cambio, a 500°, se nota una disminución, si bien bastante pequeña; en los casos más desfavorables, cuando las escorias de altos hornos son de mala calidad, alcanza el 40%; en cambio, si la escoria de altos hornos es buena, sólo pierden un 20%. Por el contrario, los agregados naturales, a la misma temperatura, ocasionan un descenso del 30-50%. A 700° las resistencias son todavía de 30 a 50% de las resistencias iniciales, mientras que con los agregados naturales, queda solamente en este caso un 20-30%. El descenso correspondiente a 900° no es, ni de mucho, tan fuerte como el que se experimenta en el caso de agregados inertes naturales.

Una de las antes citadas series de probetas fué extraída del horno estando aún caliente, a las correspondientes temperaturas de 300, 700 y 900°, y enfriadas las probetas bruscamente por su introducción en agua fría. En ese caso se comprobaron notables mermas en las resistencias, como puede

observarse en la curvas Fig. 17 (pág. 437). De las cifras halladas se desprende lo siguiente: los máximos descensos de resistencias, causados por el enfriamiento, se observan con la temperatura de 300°. A temperaturas mayores, a las que ya las probetas están muy estropeadas, las disminuciones de resistencia no se dejan ya sentir. La tabla 5 (pág. 441), así como la Fig. 17 (pág. 437) indican los valores a que se llega. La caliza se descompone a 900°, quedando sólo una masa pastosa (Fig. 18, pág. 439).

Para determinar en qué forma puede influir, en los diversos casos, el tamaño de los granos sobre las resistencias, y las reducciones que experimentan, se prepararon los agregados inertes con las primeras materias antes mencionadas, no sólo según la curva de Fuller, sino, además, según la curva de los volúmenes de poros, y con ellos se prepararon probetas normales. Las curvas de volúmenes de poros, y las curvas de Fuller, correspondientes a los diferentes agregados inertes, se hallan agrupadas en la Fig. 19 (pág. 439). La curvas en cuestión muestran que, según la curva de volúmenes de poros, existían, como es natural, granos más finos en los agregados. Los ensayos de resistencias fueron efectuados, en este caso, hasta 500°, y sus resultados se hallan en la tabla No. 6, y representados gráficamente en la tabla de curvas No. 20 (pág. 440). Se ve aquí, de nuevo, que a 300° se produce un aumento de resistencia, y que también en este caso, las escorias de altos hornos se conducen más favorablemente que los productos naturales.

Las cifras indican un comportamiento favorable, incluso a 500°, si bien éste se debe, manifestamente, a la gran compacidad del hormigón.

Resumen.—1. *Estabilidad de resistencia.* La estabilidad de resistencia del hormigón, aún a elevadas temperaturas, es todavía buena. Sólo a 1150° desciende a menos de 2 kgs. por cm².

2. *Influencia de la duración del calentamiento.*—A las 2 horas de acción del calor, en la mayor parte de los casos, se ha alcanzado ya el máximo del efecto del fuego.

3. *Influencia del aglomerante.*—Los cementos que contienen escorias de altos hornos se comportan más favorablemente que los cementos Portland puros, ya que, calentados a 300°, producen aumentos de resistencia en el hormigón.

4. *Influencia de la clase de agregados inertes.*—Los agregados cuarzosos son los que influyen, en la resistencia, del modo más desfavorable; el granito, sobre todo, reduce rápidamente la resistencia, mientras que la caliza, especialmente a temperaturas que no excedan de 700°, se conduce excelentemente. Las escorias de altos hornos se comportan más favorablemente que la piedra natural.

5. *Influencia de la clase de enfriamiento.*—El enfriamiento brusco, por medio del agua, reduce fuertemente las resistencias, aún en el caso de que el hormigón sólo se haya calentado a 300°. Las resistencias del hormigón enfriado en agua son:

a 300°	...	...	...	de 30 a 50%;
a 500°	...	...	...	de 10 a 30%;

teniendo en cuenta que, como es natural, las cifras absolutas, obtenidas a 500°, resultan más bajas que las de 300°.

6. *Influencia del tamaño granulométrico.*—Es ventajoso un ligero exceso de fragmentos de grano fino.

7. *Influencia de la elevación de la temperatura.*—Esta influencia puede claramente ser apreciada en la tabla numérica No. 7 (véase pág. 441).

Consecuencias prácticas.—La edificación de construcciones que deban ofrecer buena resistencia a la acción de temperaturas elevadas es conveniente llevarla a cabo con cementos puzolánicos, agregando inertes constituidos por escorias compactas de altos hornos. A temperaturas hasta 500° se puede, también, emplear como agregado inerte la piedra caliza, que da buenos resultados. Los agregados cuarzosos deben excluirse en todos los casos.